

PROJETO DE GRADUAÇÃO 2

## **BOMBA DE ACIONAMENTO MANUAL PARA CISTERNA**

**André Mayer Delfiaco**

**Brasília, julho de 2012**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO 2  
**BOMBA DE ACIONAMENTO MANUAL PARA CISTERNA**

**André Mayer Delfiaco**

*Relatório submetido ao Departamento de Engenharia  
Mecânica como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro Mecânico*

Banca Examinadora

Prof. Mário Olavo Magno de Carvalho,  
*ENM/UnB, Orientador*

\_\_\_\_\_

Prof. Antônio César Pinho Brasil Júnior  
*ENM/UnB, Examinador interno*

\_\_\_\_\_

Prof. Aida Alves Fadel  
*ENM/UnB, Examinador interno*

\_\_\_\_\_

## **Dedicatória**

*Aos meus pais, Isabel e André, pelo apoio irrestrito em todos os momentos de minha vida.*

*André Mayer Delfiaco*



---

## RESUMO

A região do semi-árido brasileiro reúne um conjunto de características climáticas, geomorfológicas e sócio-econômicas que configuram uma situação de instabilidade marcada pela dificuldade no acesso a recursos hídricos pela população. Em um período de quatro meses após o término das chuvas, é estimado que mais de 1 milhão de famílias fiquem sem qualquer fonte de água no período de seca. Nesse contexto, iniciativas que visam aumentar a disponibilidade de recursos hídricos para a população pelo armazenamento da água da chuva tem se mostrado sustentáveis. Uma dessas iniciativas é o Programa 1 Milhão de Cisternas (P1MC), criado por uma rede de organizações da sociedade civil Articulação no Semi-árido (ASA) em parceria com o Governo Federal, que tem como meta beneficiar cerca de 5 milhões de pessoas com água potável através da construção de cisternas de placas de cimento. Tais cisternas são construídas parcialmente imersas no solo por questões estruturais e de custo. No entanto, tal técnica configura a necessidade da utilização de um dispositivo para a remoção da água no interior da cisterna, visto que o contato com objetos externos, tal como baldes e cordas, pode introduzir agentes contaminantes comprometendo a qualidade de toda água armazenada. Este trabalho apresenta uma alternativa de solução para o problema de remoção da água da cisterna que seja viável, de baixo custo, e de simples construção, conferindo ao Programa sustentabilidade e autonomia às famílias beneficiadas. Para tal dispositivo é apresentada a análise de funcionamento, bem como um manual construtivo adaptado ao padrão sócio-econômico do público alvo.

Palavras-chave: *cisterna de placas de cimento, bomba hidráulica manual*

---

## ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region combines a set of climatic, geomorphological and socioeconomic characteristics that sets up a state of instability marked by difficulty in order to access water natural resources. It is estimated that, in four months after the beginning of the dry season, more than 1 million families remains without access to natural water sources. In this context, initiatives that improve the availability of water resources for the population have proven its sustainability. One of these is the 1 Million Cistern Program (P1MC), created by a social organizations network called Articulation in the Semi-arid (ASA) in collaboration with the Brazilian federal government, which aims to benefit 5 million people with drinking water through the construction of concrete plate cisterns. These cisterns are built partially buried in the ground for structural and economic reasons. However, this constructive technique requires a pumping device since the insertion of external objects, such as buckets and ropes, may contaminate all the stored water compromising its quality. This paper presents a viable, low cost, and simply building solution for the water pumping problem which grants the Program sustainability and autonomy for the affected families. In addition, the device's operational analysis and constructing tutorial guide are presented.

Keywords: *concrete plate cistern, hand pump*

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	1
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	2
1.3	OBJETIVOS .....	2
1.4	APRESENTAÇÃO DO RELATÓRIO .....	2
<b>2</b>	<b>ASPECTOS GERAIS SOBRE DISPOSITIVOS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA... 4</b>	<b>4</b>
2.1	DISPOSITIVOS MANUAIS E POTÊNCIA HUMANA .....	4
2.2	CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS DISPOSITIVOS DE BOMBEAMENTO .....	6
2.3	DISPOSITIVOS DE ELEVAÇÃO DIRETA .....	7
2.4	BOMBAS VOLUMÉTRICAS ALTERNATIVAS .....	10
2.5	BOMBAS CINÉTICAS E BOMBAS VOLUMÉTRICAS ROTATIVAS .....	13
<b>3</b>	<b>PROGRAMA 1 MILHÃO DE CISTERNAS (P1MC) .....</b>	<b>15</b>
3.1	OBJETIVOS E PÚBLICO ALVO .....	15
3.2	HISTÓRICO .....	15
3.3	RESULTADOS .....	16
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>17</b>
4.1	DISPOSITIVOS UTILIZADOS NO PROGRAMA .....	18
4.2	CONTINUIDADE DO PROGRAMA .....	19
4.3	ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO.....	21
<b>5</b>	<b>SOLUÇÃO ADOTADA .....</b>	<b>27</b>
5.1	ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO .....	33
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>39</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>41</b>
<b>I</b>	<b>MANUAL DE CONSTRUÇÃO.....</b>	<b>42</b>

# LISTA DE FIGURAS

2.1	<i>Potência mecânica gerada em função do tempo de duração do exercício. (WHITT, 1982) ....</i>	5
2.2	<i>Geometria ótima em função da velocidade específica para uma bomba de um estágio. (KARASSIK, 2000) .....</i>	7
2.3	<i>Dispositivos de elevação direta de funcionamento alternativo. (FRAENKEL, 1986) .....</i>	8
2.4	<i>Dispositivos de elevação direta de funcionamento rotativo. (FRAENKEL, 1986) .....</i>	9
2.5	<i>Indução de deslocamento em bombas de deslocamento positivo. (FRAENKEL, 1986).....</i>	10
2.6	<i>Bomba volumétrica alternativa de acionamento manual. (FRAENKEL, 1986).....</i>	11
2.7	<i>Diferentes configurações de bombas volumétricas alternativas. (FRAENKEL, 1986) .....</i>	12
2.8	<i>Representação esquemática do funcionamento de uma bomba de diafragma. (FRAENKEL, 1986) .....</i>	13
2.9	<i>Bombas cinéticas. Desenho em corte longitudinal. ....</i>	14
2.10	<i>Bombas volumétricas rotativas. (KARASSIK, 2000).....</i>	14
4.1	<i>Desenho da cisterna do PIMC. ....</i>	18
4.2	<i>Modelos de bomba manual utilizados no PIMC.....</i>	19
4.3	<i>Representação das alternativas à utilização de um dispositivo de bombeamento. ....</i>	20
4.4	<i>Fluxograma para tomada de decisão. ....</i>	21
4.5	<i>Sistema com corda, balde e mangueira. ....</i>	22
4.6	<i>Bomba de diafragma com mangote de radiador automotivo. ....</i>	23
4.7	<i>Esquema da montagem da bomba de diafragma na cisterna. ....</i>	24
5.1	<i>Diferentes configurações de bomba volumétrica para cisterna. Em (a) é representada a configuração de alguns dos modelos empregados no Programa e em (b) é representada a configuração do dispositivo proposto. Um esquema representativo do funcionamento do dispositivo proposto é representado em (c), com destaque à sua parte inferior vista em corte longitudinal. ....</i>	28
5.2	<i>Representação do dispositivo adotado. ....</i>	29
5.3	<i>Dimensões em milímetros dos componentes principais pelo fabricante AMANCO. Figuras modificadas do catálogo do fabricante. ....</i>	30
5.4	<i>Detalhe da vedação do contato cilindro-pistão feita com segmentos de borracha de câmara de ar de bicicleta. ....</i>	31
5.5	<i>Haste no interior da válvula de descarga e geometria do bocal de admissão. ....</i>	32
5.6	<i>Materiais e ferramentas.....</i>	32
5.7	<i>Equivalência entre a cisterna do Programa e a bancada construída para os testes do dispositivo proposto.....</i>	34
5.8	<i>Esquemas representativos das montagens dos testes realizados. ....</i>	37
I.1	<i>Materiais e ferramentas.....</i>	42
I.2	<i>Montagem final e partes principais destacadas. ....</i>	43
I.3	<i>Sequência de montagem da manopla de acionamento.....</i>	44

I.4	<i>Sequência de montagem do pistão.....</i>	45
I.5	<i>Sequência de montagem da válvula de admissão. ....</i>	46
I.6	<i>Sequência de montagem da parte superior do corpo da bomba. ....</i>	47
I.7	<i>Sequência de montagem da parte inferior do corpo da bomba.....</i>	47

## LISTA DE TABELAS

2.1	<i>Gasto energético de um ser humano para várias atividades. * (BENT, 1978) ** (ACSM, 1991) .....</i>	6
4.1	<i>Dimensões da cisterna de placas do P1MC.....</i>	18
4.2	<i>Quadro comparativo das alternativas de solução. ....</i>	26
5.1	<i>Relação dos componentes para a fabricação da bomba adotada. Os tubos e conexões em PVC utilizados são da linha soldável para água fria. ....</i>	33

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos Latinos

$A$	Área	$[m^2]$
$c$	Curso do pistão	$[m]$
$D$	Diâmetro	$[m]$
$F$	Força de acionamento	$[N]$
$g$	Aceleração gravitacional	$[m/s^2]$
$H$	Altura manométrica	$[m]$
$h$	Altura do nível do reservatório	$[m]$
$Q$	Vazão volumétrica	$[m^3/s]$
$\Delta t$	Variação temporal	$[s]$
$V$	Volume	$[m^3]$
$W$	Trabalho mecânico	$[J]$

## Símbolos Gregos

$\Omega$	Velocidade angular	$[rad/s]$
$\rho$	Massa específica da água	$[kg/m^3]$

## Grupos Adimensionais

$\Omega_s$	Velocidade característica de uma bomba hidráulica
$\eta$	Eficiência

## Subscritos

$asc$	referente ao movimento ascendente do pistão
$desc$	referente ao movimento descendente do pistão
$int$	interior
$ext$	exterior
$inicial$	referente ao instante inicial
$final$	referente ao instante final
$total$	referente ao trabalho total
$sifão$	referente ao teste do funcionamento por efeito sifão
$R1$	Reservatório 1
$R2$	Reservatório 2

## **Siglas**

ANA	Agência Nacional de Águas
ASA	Articulação no Semi-Árido
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEBRABAN	Federação Brasileira de Bancos
MDS	Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome
MESA	Ministério Especial de Segurança Alimentar
P1MC	Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semi-Árido: um Milhão de Cisternas



# 1 INTRODUÇÃO

*O capítulo apresenta a principal motivação do trabalho. Os objetivos são listados e uma breve explicação da metodologia é descrita. Por fim, a organização deste trabalho é apresentada.*

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A região do semi-árido brasileiro reúne um conjunto de características climáticas, geomorfológicas e sócio-econômicas que configuram uma situação marcada pela dificuldade no acesso a recursos hídricos pela população, estimada em 18,5 milhões.

Do ponto de vista climático, a região possui pluviosidade média anual de 350 mm a 800 mm, no entanto, sob um regime de chuvas irregular, marcado pela concentração das precipitações em um curto período do ano, de 3 a 4 meses. Além disso, a região apresenta forte insolação, alta temperatura média anual e baixa humidade, de forma que as taxas de evapotranspiração são elevadas.

O subsolo da região é constituído principalmente de rochas cristalinas, de baixa permeabilidade, que inibe a formação de aquíferos subterrâneos. Devido a capacidade reduzida de armazenamento hídrico do solo e às precipitações ocorrerem concentradas em um curto período de tempo, o escoamento da água da chuva é rápido e seu uso, seja na produção agropecuária ou doméstico, é prejudicado.

Além disso, no período de estiagem, a intensa evaporação torna os recursos hídricos disponíveis são cada vez mais escassos de forma que, em toda região, pouquíssimos rios e corpos d'água são perenes. Além disso, a água naturalmente disponível apresenta elevada concentração de sais, e o seu uso é muitas vezes compartilhado com animais.

Segundo estudos da Embrapa Semi-Árido (CPATSA/Embrapa), dois meses após o encerramento do período das chuvas, 550 mil dos 2,6 milhões de estabelecimentos rurais da região passam a viver sem qualquer tipo de água para o consumo humano ou animal. Considerando um período de quatro meses após o término das chuvas, é estimado que mais de 1 milhão de estabelecimentos fiquem sem qualquer fonte de água no período de seca.

Por estes motivos, a ocorrência de doenças e desnutrição é marcante, e taxa de mortalidade infantil na região do semi-árido é historicamente a maior do país, contribuindo para uma situação de instabilidade social.

Diminuir os efeitos da baixa disponibilidade de recursos hídricos no período de estiagem com o armazenamento de água da chuva tem se mostrado uma alternativa sustentável. Diversas iniciativas de implantação de mecanismos de captação e de construção de reservatórios tem sido implementadas. Uma destas alternativas é a cisterna de placas de cimento, construída junto ao domicílio da família, aproveitando por meio de calhas a água da chuva que incide sobre do telhado.

Nesse contexto, tendo observado o melhor custo-benefício em relação a outras alternativas de combate

à escassez de água, tais como açudes, poços e barragens subterrâneas, a Articulação no Semi-Árido (ASA) decidiu pela ampliação de seu programa de construção de cisternas de placas de cimento aproximando-o de políticas governamentais. Foi criado então, em julho de 2003, o Programa 1 Milhão de Cisternas (P1MC), com o objetivo de ajudar 5 milhões de pessoas.

## **1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

Muitas vezes as cisternas de placas de cimento são construídas parcialmente imersas no solo, pois assim se reduz a carga a que se submete sua estrutura, tornando sua construção mais simples e de menor custo. No entanto, esta configuração cria a dificuldade de remoção da água quando seu nível é inferior ao do solo. Neste caso, faz-se necessária a utilização de algum dispositivo de bombeamento ou recalque da água.

Uma das exigências para este dispositivo é a de minimizar, ou eliminar, o contato com agentes contaminantes externos que possam prejudicar a qualidade da água, prevenindo a ocorrência de doenças. Nesse sentido, a utilização de baldes para este fim é fortemente desaconselhada.

Tratando-se de um programa de implantação de sistemas de aproveitamento da água da chuva voltado para famílias de baixa renda, preocupações com o custo de fabricação e manutenção dos dispositivos devem receber atenção especial. O problema situa-se além de uma análise de viabilidade econômica, pois deve-se garantir o acesso do público alvo à solução. Além de custos, a disponibilidade de insumos no mercado regional também deve ser estudada.

Cerca de 200 milhões de cisternas já foram construídas no âmbito do P1MC. No entanto, foram reportadas deficiências quanto ao funcionamento dos dispositivos inicialmente desenvolvidos para o Programa.

## **1.3 OBJETIVOS**

Este trabalho tem como principal objetivo a proposição de uma solução para o bombeamento da água de cisternas das famílias beneficiadas pelo programa P1MC.

Para tal, pretende-se realizar uma análise do funcionamento dos dispositivos existentes de forma a fundamentar a proposição de possíveis soluções para os problemas identificados. Propõe-se então a concepção de um novo modelo, sua construção e a elaboração de um manual de construção e operação e, por fim, a análise de seu funcionamento.

## **1.4 APRESENTAÇÃO DO RELATÓRIO**

A Seção 2 aborda uma revisão sobre os conceitos fundamentais dos mecanismos de bombeamento de água buscando apresentar os princípios de funcionamento relacionados aos dispositivos que mais se ade-

quam ao problema proposto. Na Seção 3, são apresentadas as diretrizes principais do Programa 1 Milhão de Cisternas, bem como um breve histórico e seus resultados, obtidos por meio de pesquisa amostral.

As condições de contorno e os aspectos restritivos do problema são abordados na Seção 4. Nessa seção também são analisadas maneiras de contornar a necessidade de um dispositivo de bombeamento por meio de modificações na concepção da cisterna. Na Seção 5, é apresentado o modelo desenvolvido e suas características, bem como a análise de funcionamento. O manual de construção é apresentado no Anexo I.

## 2 ASPECTOS GERAIS SOBRE DISPOSITIVOS DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA

*Nesta seção são apresentados princípios básicos de funcionamento de diversos dispositivos para bombeamento de água existentes.*

Com o surgimento da agricultura, a irrigação tornou-se uma necessidade em regiões com baixa disponibilidade de recursos hídricos ou onde precipitação era insuficiente. Ao longo da história, essa dificuldade motivou a criação de diversos sistemas para o transporte ou bombeamento de água para irrigação e consumo humano.

A utilização da inundação sazonal para o represamento da água em bacias ou redes de canais ao longo das plantações foi uma prática largamente utilizada pelas civilizações antigas, como no Egito Antigo e na Mesopotâmia. (OLESON, 2000)

Os primeiros dispositivos em que se usa trabalho mecânico para elevação de água surgiram a partir do terceiro e do segundo milênio a.C (NEEDHAM, 1965). Um destes é a picota, utilizada para retirar água de poços através de um sistema de contra-peso. Posteriormente, dispositivos de funcionamento rotativo, como a roda persa, foram desenvolvidos possibilitando o acionamento por meio de força animal.

A partir do final do século XIX, o acionamento por meio de motores elétricos ou à combustão permitiu a utilização rotações mais elevadas e o desenvolvimento das bombas centrífugas. Tais bombas são tecnologicamente superiores e amplamente utilizadas atualmente.

### 2.1 DISPOSITIVOS MANUAIS E POTÊNCIA HUMANA

Ao longo da história diversos dispositivos criados basearam-se na utilização da potência humana para o acionamento. Ainda hoje muitos dispositivos de bombeamento de acionamento manual são utilizados, seja por se tratar de aplicações em que não se tem acesso à outras formas de acionamento, como energia elétrica, ou por a utilização destas não ser justificável ou economicamente viável.

Entretanto, a utilização de dispositivos de acionamento manual é limitada naturalmente pela potência mecânica que um ser humano é capaz de gerar, associada a condições ergonômicas aceitáveis para tal aplicação.

Diversas pesquisas voltadas para o desenvolvimento de veículos de propulsão humana buscam estimar a potência mecânica que um ser humano é capaz de gerar, e por qual duração, com base em dados coletados de atletas em competições de ciclismo e corrida. O gráfico da Fig. 2.1 a seguir apresenta resultados de potência mecânica gerada em função do tempo de duração do exercício provenientes de uma compilação de diversas pesquisas.

O corpo humano é um sistema complexo formado de inúmeros processos físicos, fisiológicos e psico-

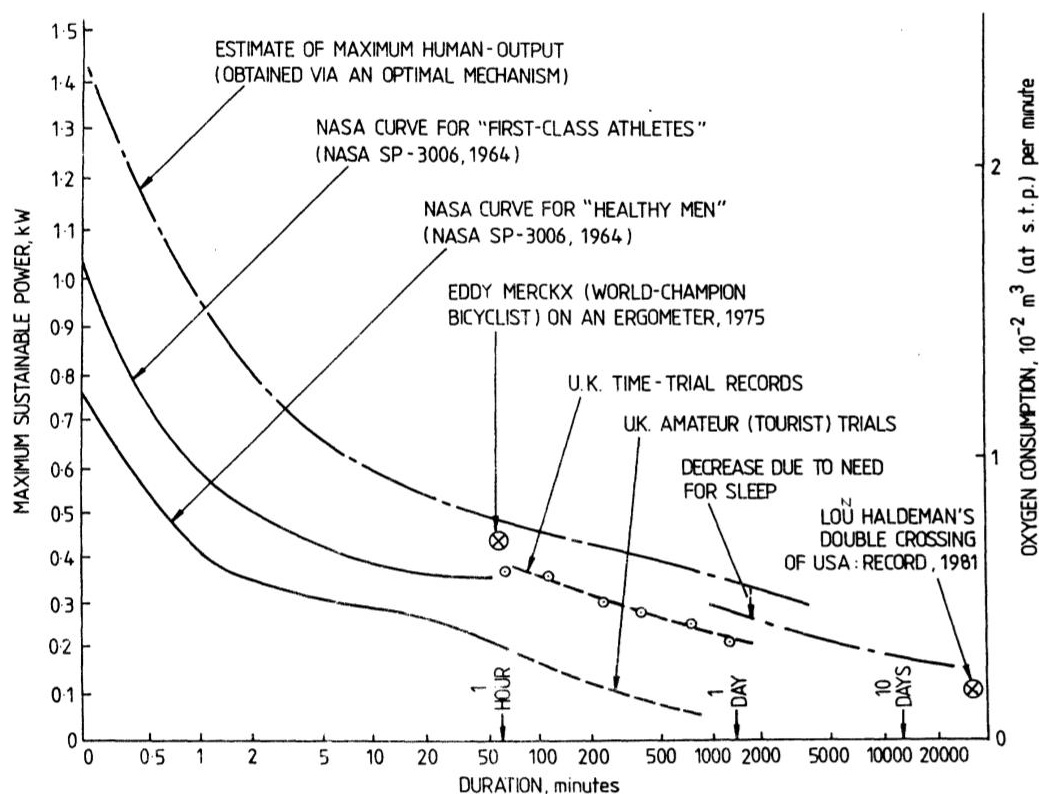


Figura 2.1: Potência mecânica gerada em função do tempo de duração do exercício. (WHITT, 1982)

lógicos inter-relacionados. A manutenção desses processos, necessária para a manutenção da vida, resulta num gasto energético significativo, a partir de 70 a 100 W variando significativamente em função do indivíduo. O gasto energético de um indivíduo, devido ao metabolismo, quando este encontra-se em repouso é chamado de *metabolismo basal*. Adicionalmente, gasto energético é tão maior quanto o nível de esforço da atividade desempenhada, de forma que apenas uma fração de todo o gasto energético é convertido em potência mecânica. (DIRKEN, 1997)

A estimativa da eficiência energética de um ser humano, em termos da potência útil gerada e do gasto energético da atividade, é objeto de estudo de diversas pesquisas. Em (WHITT, 1982), é apresentada uma estimativa com base no consumo de gás oxigênio durante o desempenho de atividades e os resultados apontam para uma eficiência de 20% em um regime de atividade leve a moderado, tal como estimado por outros estudos. Vale ressaltar que a eficiência de um ser humano deve ser entendida como uma faixa de valores, que mesmo para um mesmo indivíduo de massa, altura, idade, sexo, etc. específicos, sua eficiência varia significativamente conforme o grau de intensidade de esforço físico da atividade.

Nesse sentido, outra forma, e mais qualitativa, de estimar a potência mecânica gerada por um ser humano se dá através de seu gasto energético durante o desempenho de determinada atividade. Diversas pesquisas, para fins medicinais ou voltadas para o dimensionamento de sistemas de climatização de ambientes, visam estimar o gasto energético médio durante o desempenho de atividades específicas. Resultados relativos às atividades: repouso, trabalho manual, caminhada e corrida; são apresentados na Tabela 2.1 a seguir.

Tabela 2.1: *Gasto energético de um ser humano para várias atividades.* \* (BENT, 1978) \*\* (ACSM, 1991)

Atividade	Gasto energético (W)
Repouso	75*
Trabalho manual leve	150*
Caminhada (54 m/min)	179**
Caminhada (107 m/min)	286**
Corrida (201 m/min)	883**
Corrida (403 m/min)	1690**

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS DISPOSITIVOS DE BOMBEAMENTO

Os diversos dispositivos de bombeamento e transporte de água já utilizados pela humanidade se baseiam no emprego de um, ou uma combinação, dos sete princípios básicos:

1. Escoamento por gravidade;
2. Elevação direta: envolve o levantamento de um determinado volume de água contido em um recipiente;
3. Deslocamento: utiliza a incompressibilidade efetiva da água para forçar seu deslocamento por ação de uma fronteira móvel;
4. Energia cinética: transmissão contínua de energia cinética ao fluxo de água por ação de um impelidor e conversão desta em energia potencial (pressão);
5. Golpe de aríete (carneiro hidráulico);
6. Sustentação por fase gasosa;
7. Educação: eduz a água de um bocal por ação da redução de pressão obtida com um escoamento secundário através bocal convergente-divergente.

As bombas são divididas primordialmente em dois grupos: hidrostáticas e hidrodinâmicas. As bombas hidrostáticas (ou volumétricas, ou de deslocamento positivo) baseiam-se no princípio descrito no item 3, e se subdividem de acordo com o regime de acionamento: alternativo ou rotativo. As bombas hidrodinâmicas compreendem os dispositivos governados pelos princípios descritos nos itens 4 a 7, sendo as bombas centrífugas (item 4) de maior relevância na maior parte das aplicações industriais atualmente.

As bombas baseadas nos princípios de sustentação por fase gasosa, educação e martelo hidráulico compreendem aplicações específicas em que deve-se dispor de uma instalação com fluido pressurizado ou curso d'água natural. As bombas volumétricas e as bombas centrífugas são adequadas a uma diversidade maior de aplicações, sendo a seleção primordialmente feita por meio da velocidade característica, em função da qual a concepção de um sistema hidráulico pode ser otimizada (Fig. 2.2).

A velocidade característica  $\Omega_s$  de uma bomba hidráulica é definida como

$$\Omega_s = \frac{\Omega Q^{1/2}}{(gH)^{3/4}} \quad (2.1)$$

onde  $\Omega$  é a rotação da bomba em  $rad/s$ ,  $Q$  a vazão volumétrica em  $m^3/s$ ,  $g$  a aceleração gravitacional em  $m/s^2$  e  $H$  a altura manométrica em  $m$ . Bombas centrífugas são mais recomendadas para valores de  $\Omega_s$  superiores à  $10^{-1}$ , isto é, quando ocorrem altas vazões e rotações e baixas pressões manométricas. Bombas volumétricas alternativas são mais recomendadas em aplicações em que a pressão de recalque é mais significativa do que a vazão, geralmente valores de  $\Omega_s$  inferiores à  $10^{-2}$ . Para  $\Omega_s$  entre  $10^{-2}$  e  $10^{-1}$  bombas volumétricas rotativas são mais recomendadas. (KARASSIK, 2000)

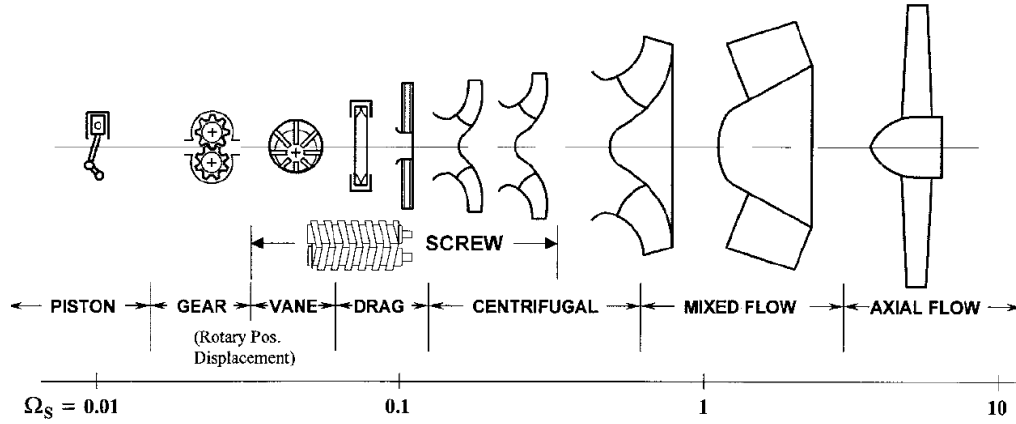


Figura 2.2: Geometria ótima em função da velocidade específica para uma bomba de um estágio. (KARASSIK, 2000)

A estimativa da velocidade específica de bombas para a aplicação à que se destina este trabalho pode ser obtida com valores aproximados para  $Q$  e  $\Omega$ . A rigor, o correto dimensionamento destas grandezas envolveria estudos acerca da demanda diária da cisterna, tempo pretendido para o acionamento, além de considerar questões ergonômicas. No entanto, tal dimensionamento foge ao escopo deste trabalho e a estimativa apresentada pela equação (2.2) cumpre o papel de justificar em termos de eficiência energética a utilização de bombas volumétricas alternativas em tal aplicação:

$$\Omega_s = \frac{\Omega Q^{1/2}}{(gH)^{3/4}} = \frac{(10 \frac{rad}{s})(0.0001 m^3/s)^{1/2}}{(10 m/s^2)(3m)^{3/4}} = 0,78 \times 10^{-2} \quad (2.2)$$

As seções seguintes visam apresentar os princípios básicos de funcionamento, bem como características gerais e variabilidades construtivas, dos dispositivos de bombeamento de água de maior relevância para aplicações de baixo custo e produção unitária, isto é, que possam ser adequados à realidade sócio-econômica do semi-árido e aos aspectos técnicos do PIMC.

## 2.3 DISPOSITIVOS DE ELEVAÇÃO DIRETA

Estes dispositivos baseiam-se na elevação da água com a utilização de recipientes. Na altura em que se encontra o reservatório da água a ser bombeada o recipiente é enchido e elevado até a altura desejada, onde é despejado. Este processo é realizado repetidas vezes, podendo ser por mecanismos de funcionamento alternativo ou rotativo. A simplicidade tecnológica destes dispositivos é evidente e tiveram papel fundamental

no desenvolvimento da agricultura na antiguidade, além de serem utilizados ainda na atualidade.

São classificados neste grupo os dispositivos mais antigos já construídos com a finalidade de transporte ou elevação de água tais como a picota (Fig. 2.3(a)), a nora (Fig. 2.4(a)) e a roda persa (Fig. 2.4(c)).

Entre os mecanismos de funcionamento alternativo são destacados aqui a picota e a gangorra (Fig. 2.3(b)). A picota consiste em um sistema de contra-peso para reduzir a força necessária para elevação da água, sendo formada por uma alavanca pivotada sobre uma coluna central. Nas extremidades da alavanca são fixados o contra-peso e um recipiente para o transporte da água, suspenso por uma corda. É geralmente utilizada para elevação de água em desníveis de 2 a 3 metros. A gangorra, utilizada em desníveis de até 1,5 metro, é formada por uma calha pivotada, uma válvula de restrição em uma das extremidades e um contra-peso na outra. A extremidade portadora da válvula é enchida com água quando abaixada até o nível do reservatório e então erguida, por ação do contra-peso, até uma altura superior a de despejo, fazendo então a água escoar por gravidade.

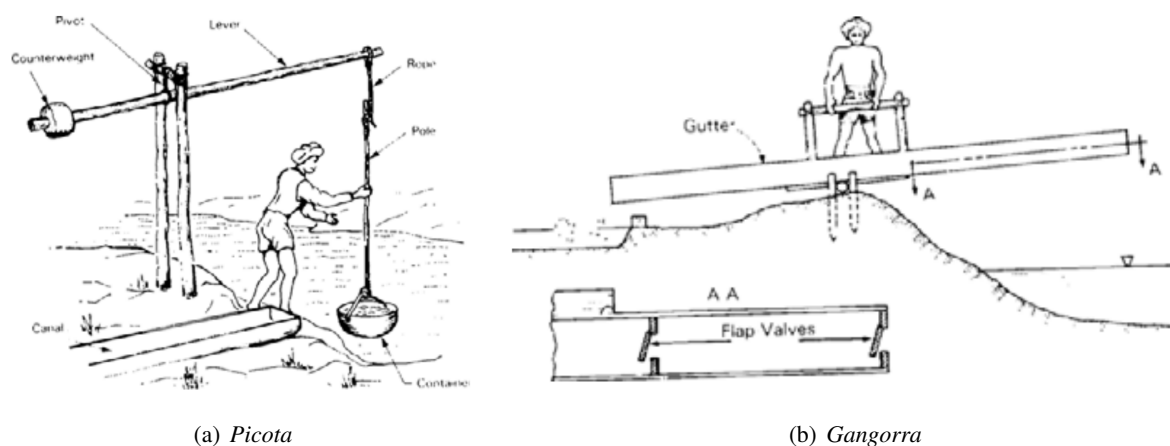


Figura 2.3: Dispositivos de elevação direta de funcionamento alternativo. (FRAENKEL, 1986)

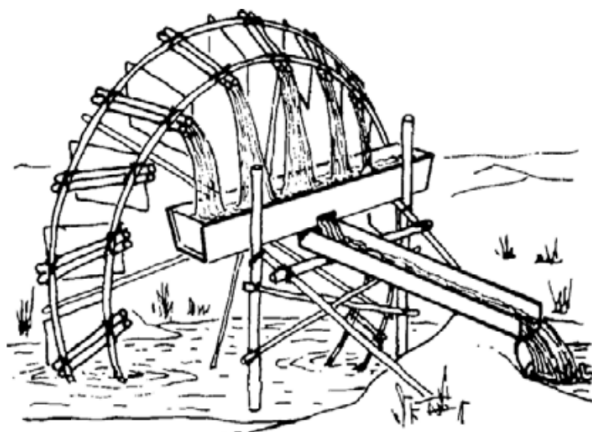
Tais dispositivos apresentam baixa capacidade de vazão, limitados por aspectos construtivos e acionamento humano. Na antiguidade, dispositivos rotativos de elevação direta possibilitaram o acionamento por força animal ou utilizando-se cursos d'água, representando grande avanço para a agricultura irrigada. São aqui destacadas a roda persa, a nora e a 'sakia'.

A roda persa consiste em uma longa corrente fechada de pequenos recipientes acionada por uma roda. Os recipientes são sequencialmente mergulhados e enchidos no reservatório e então erguidos até a altura da roda, onde despejam seu conteúdo em um bocal coletor. A depender do acionamento da roda, geralmente animal, as rodas persas são geralmente usadas para o bombeamento de água em desníveis de até 20 metros. Sua eficiência é limitada principalmente pelo derramamento indesejado da água no interior dos recipientes ao longo do percurso e pelo atrito. Além disso, o diâmetro da roda deve acomodar o despejo de água, que deve ser realizado a uma altura suficientemente superior à do bocal coletor. Em consequência, seu custo é afetado e a altura de recalque é mitigada.

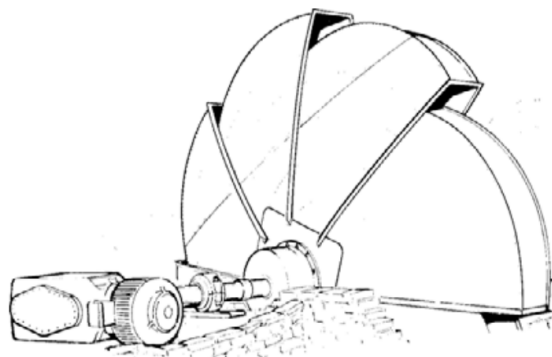
A nora possui funcionamento semelhante à roda persa mas com os recipientes montados diretamente sobre a roda possibilitando ser acionada como roda d'água, sendo limitada principalmente pela potência de acionamento, altura de recalque inferior ao diâmetro da roda, além de apresentar a mesma dificuldade



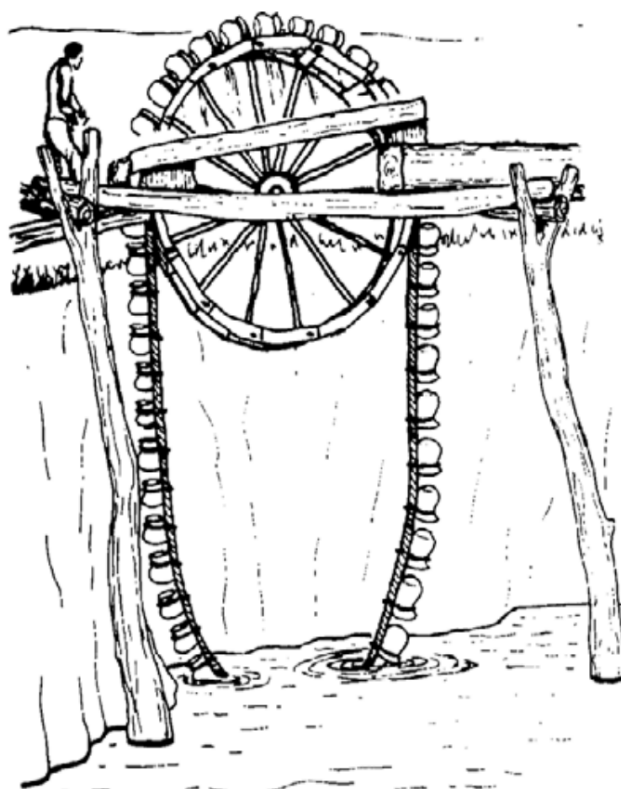
em relação ao coletor. Solucionando a dificuldade de vertimento da nora e da roda persa, a roda da 'sakia' é formada por concavidades lateralmente fechadas e radialmente dispostas capazes de levantar a água em seu interior até o centro, onde é coletada. No entanto, a altura de recalque é inferior ao raio da roda.



(a) Nora



(b) 'sakia'



(c) Roda persa

Figura 2.4: Dispositivos de elevação direta de funcionamento rotativo. (FRAENKEL, 1986)

## 2.4 BOMBAS VOLUMÉTRICAS ALTERNATIVAS

Bombas volumétricas alternativas são bastante adequadas e de fácil implementação em aplicações de baixo custo, sendo atualmente adotadas para o bombeamento de água de cisternas ou poços para o consumo humano em iniciativas humanitárias em regiões de dificuldade de acesso a recursos hídricos.

O princípio de funcionamento destes dispositivos baseiam-se no deslocamento até um bocal de descarga da água confinada em um volume por ação de uma fronteira móvel deste volume. A água, para a maioria das aplicações, é considerada incompressível, sendo esta propriedade fundamental para o funcionamento das bombas volumétricas. O deslocamento da água pode ser obtido por meio de três princípios, esquematizadas na Fig. 2.5 por um conjunto cilindro-pistão. O primeiro, ilustrado na Fig. 2.5(a), utiliza a redução da pressão no interior do cilindro pelo deslocamento do pistão, provocando o deslocamento da água por ação da pressão atmosférica. Outra forma, Fig. 2.5(b) consiste no deslocamento da água pela ação direta da força de contato com o pistão, isto é, a fronteira móvel. Similarmente, Fig. 2.5(c), pode-se provocar o deslocamento da água por imersão de um êmbolo, fazendo-o ocupar o volume anteriormente ocupado pela água.

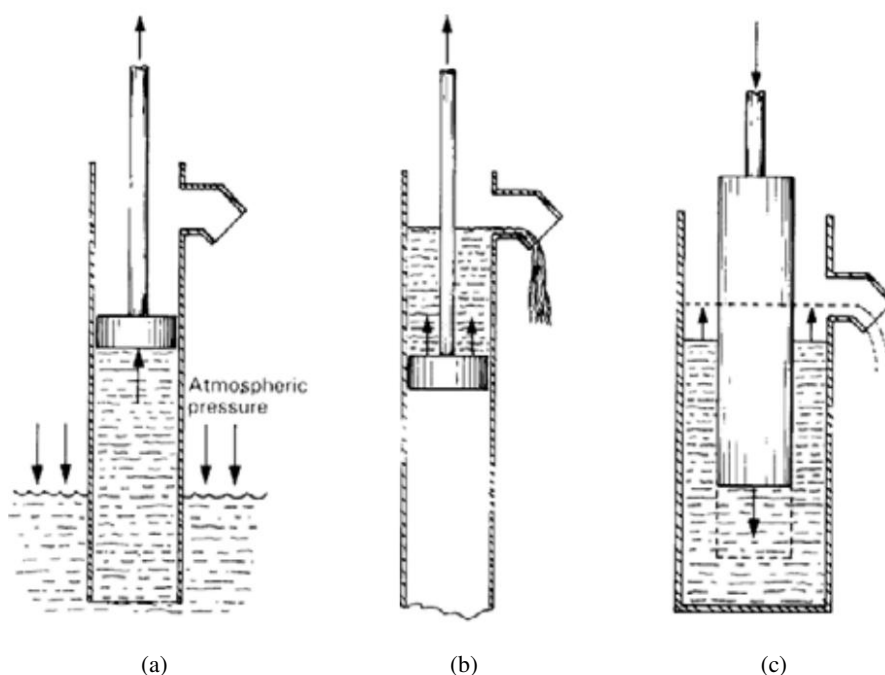


Figura 2.5: *Indução de deslocamento em bombas de deslocamento positivo. (FRAENKEL, 1986)*

O funcionamento dessas bombas baseia-se no deslocamento do fluido através da combinação dos princípios acima mencionados e da ação de válvulas de retenção, que permitem a passagem do fluido somente em um sentido. Um exemplo típico deste tipo de dispositivo é representado na Fig. 2.6. Em seu movimento ascendente, o pistão induz a entrada de água no cilindro por ação da pressão atmosférica (primeiro princípio). A passagem de água neste sentido é permitida pela primeira válvula de retenção, localizada na extremidade inferior do cilindro. A segunda válvula de retenção, localizada no pistão, fecha-se e impede que a água localizada acima deste retorne para o interior do cilindro sendo elevada (segundo princípio). O movimento descendente do pistão, que induz o fechamento da primeira válvula e a abertura da segunda

válvula, provoca o deslocamento da água para parte superior do pistão para ser elevada no próximo ciclo.

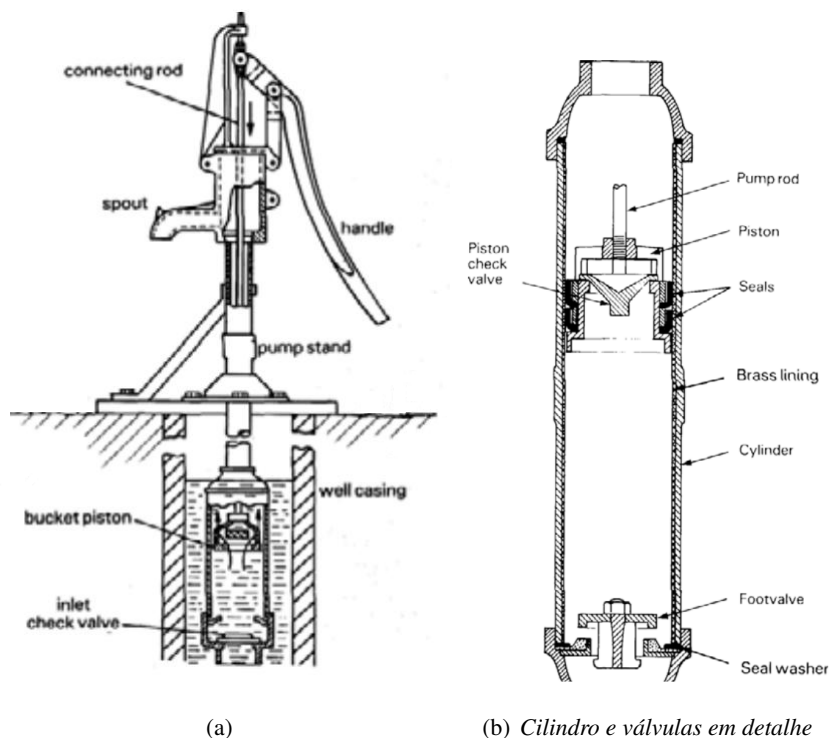


Figura 2.6: Bomba volumétrica alternativa de acionamento manual. (FRAENKEL, 1986)

Diferentes configurações de bombas volumétricas alternativas podem ser empregadas, das quais algumas encontram-se esquematizadas na Fig. 2.7. A configuração (a) assemelha-se à bomba da Fig. 2.6, e a configuração (b) pode ser utilizada quando a água deve ser bombeada um nível superior ao que a barra de acionamento entra na bomba, o que demanda a vedação desse contato. A configuração (c) utiliza um sistema convencional cilindro-pistão no qual o pistão não possui válvula. No lugar, a válvula de saída é montada exterior ao cilindro, de forma que a água é bombeada no movimento descendente do pistão, fazendo-se necessária uma barra de acionamento que resista a tal esforço de compressão. Além disso, a inversão de sentido do fluxo de água no interior do pistão pode limitar a operação deste modelo de bomba. A configuração (d) assemelha-se à (c), utilizando no lugar do pistão um êmbolo, sendo recomendada, devido à sua vedação diferenciada, para baixas vazões e altas pressões ou quando a água bombeada apresenta partículas sólidas abrasivas. Adicionalmente, esta configuração apresenta uma câmara de ar para proteção do sistema contra golpe de aríete provocado pela tendência à inversão de fluxo na válvula de saída, importante no caso de pressões elevadas de bombeamento. A configuração (e) é mais indicada quando a vazão é elevada e a pressão de bombeamento é baixa, o que torna importante a perda de carga nas válvulas dificultando o acionamento. Esta configuração permite maiores aberturas de válvula minimizando a perda de carga.

As configurações (f), (g) e (h) referem-se às bombas volumétricas alternativas de ação dupla. Nas bombas de ação dupla, o fluido é bombeado tanto no movimento ascendente quanto no movimento descendente do pistão, proporcionando uma vazão mais contínua. Normalmente são complexas e de custo ligeiramente superior, podendo ser um fator limitante em aplicações de baixo custo. Adicionalmente, apresentam os inconvenientes do esforço compressivo da barra de acionamento e, em alguns casos, da inversão de fluxo.

A configuração (f) assemelha-se à (c), mas de ação dupla, possuindo 2 válvulas de admissão e 2 válvulas de descarga. A configuração (g) apresenta válvula de descarga montada no cilindro, além de uma barra de acionamento cuja seção transversal é a metade da área da seção transversal do cilindro. Desta forma, quando em movimento ascendente, o pistão recalca metade do volume útil do cilindro de água presente na câmara superior (primeiro princípio) e succiona para a câmara inferior o volume útil completo do cilindro em água (segundo princípio). Em seguida, quando em movimento descendente, a válvula de admissão se fecha e a válvula do pistão se abre e a barra volta a ocupar metade do volume útil, forçando o deslocamento da água para cima (terceiro princípio). Esta bomba é considerada de dupla ação e não apresenta inversão do fluxo no interior do cilindro. A configuração (h) assemelha-se à (g), porém o pistão não porta a válvula de descarga e é inversão do sentido do fluxo de água nas duas câmaras do cilindro, assim como em (f).

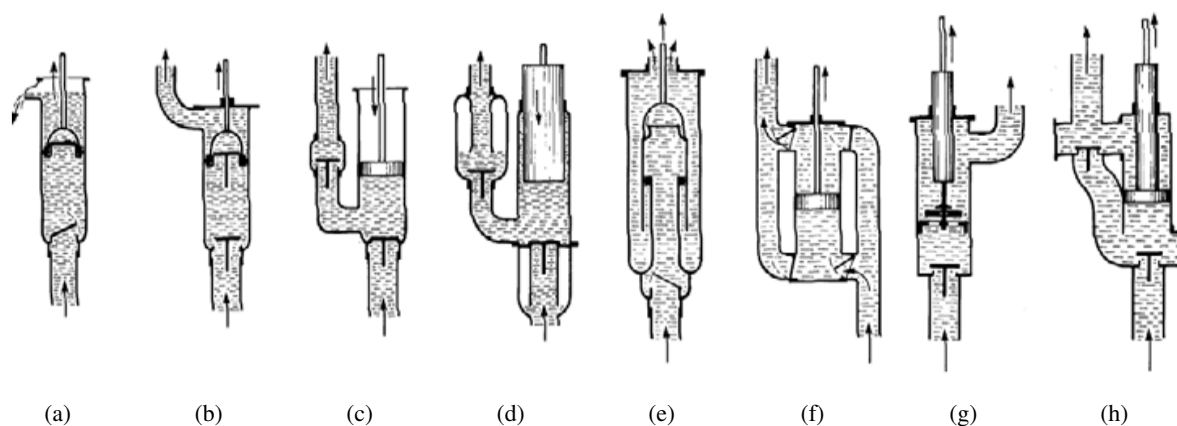


Figura 2.7: *Diferentes configurações de bombas volumétricas alternativas. (FRAENKEL, 1986)*

Todas as bombas volumétricas alternativas necessitam de válvulas de retenção. As principais exigências para uma válvula de retenção é uma boa vedação quando fechada e baixa resistência ao escoamento quando fechada, e rápida abertura e fechamento. Boa vedação pode ser obtida com materiais de baixo módulo de elasticidade, tal como a borracha, ou metais com bom acabamento superficial e geometria permita área de contato suficiente. A perda de carga nas válvulas quando abertas é reduzida aumentando-se a área livre transversal ao fluxo e minimizando a variação de direção do fluxo no interior da válvula. Recomenda-se que a área livre da válvula de sucção seja de no mínimo dois terços da área transversal do cilindro, enquanto que a válvula de descarga deve possuir área livre de no mínimo metade da área transversal do cilindro []. A rápida abertura e fechamento, minimizando o refluxo, são obtidos com baixa inércia das partes móveis e pequeno curso de abertura. No entanto, a durabilidade pode se comprometer com a baixa robustez do mecanismo e menor curso de abertura prejudica o escoamento, aumentando a perda de carga.

Alternativamente a utilização de um conjunto cilindro-pistão, o deslocamento do fluido pode ser obtido por meio da deformação de uma fronteira flexível. As bombas que utilizam esse princípio são chamadas bombas de diafragma, e seu funcionamento é esquematizado na Fig. 2.8. A eficiência mecânica das bombas de diafragma é em geral superior às bombas à pistão, pois, à excessão das válvulas, são perfeitamente seladas e não apresentam partes móveis em contato. No entanto, a relação entre curso e volume varrido é desfavorável, proporcionando elevada força de acionamento. Além disso, o compromisso entre custo e durabilidade do diafragma pode inviabilizar a utilização deste tipo de bomba em diversas aplicações.

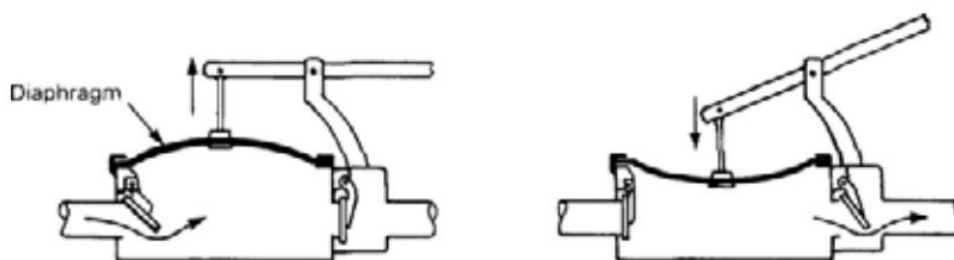


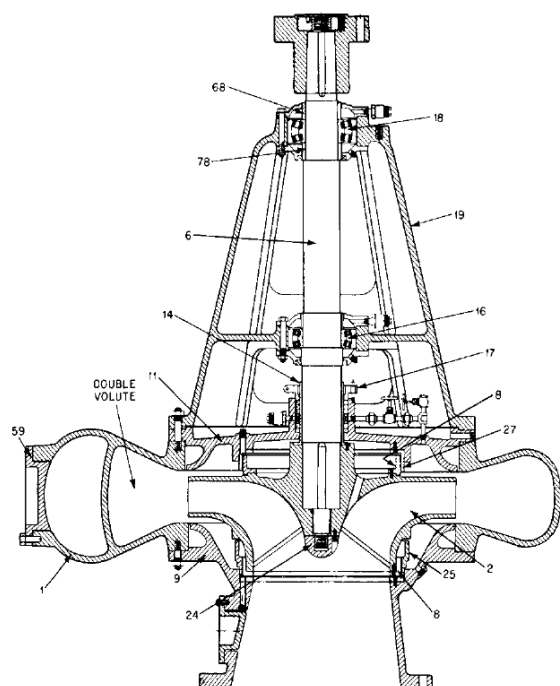
Figura 2.8: *Representação esquemática do funcionamento de uma bomba de diafragma. (FRAENKEL, 1986)*

## 2.5 BOMBAS CINÉTICAS E BOMBAS VOLUMÉTRICAS ROTATIVAS

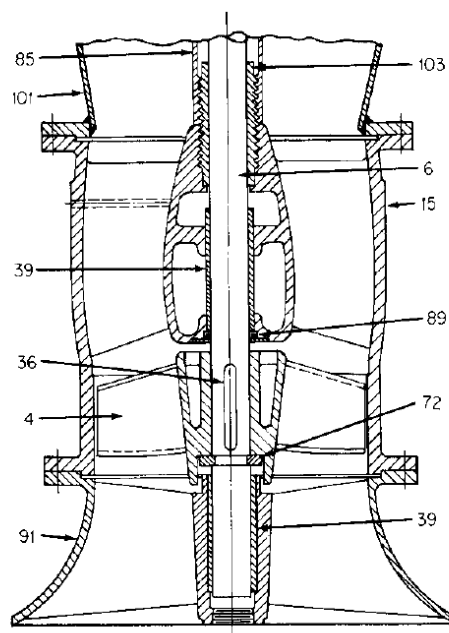
O funcionamento das bombas cinéticas (Fig. 2.9) baseia-se na transmissão contínua de energia cinética ao fluxo de água por ação de um impelidor à medida que escoar continuamente pelo interior da bomba e, em seguida, na transformação do ganho de energia cinética em energia potencial, isto é, em pressão manométrica. A recuperação de energia potencial baseia-se no princípio de Bernoulli e é realizada, em geral, pela passagem do escoamento por uma carcaça coletora em espiral, chamada voluta, ou por um arranjo de pás não rotativas, chamado estator. Uma diferença prática das bombas cinéticas em relação às bombas volumétricas é a sua capacidade de operar em condição de válvula fechada, isto é, com vazão nula.

As bombas volumétricas rotativas baseiam-se no princípio do deslocamento do fluido confinado em um volume pela ação de uma fronteira móvel obtida pelo movimento rotativo de suas partes. Tais bombas são classificadas em função do tipo de rotor, podendo ser de: engrenagens, lóbulos, parafuso, ou palhetas; conforme como representado na Fig. 2.10.

Bombas cinéticas e bombas volumétricas rotativas são tecnologicamente favorecidas e largamente utilizadas em aplicações industriais, no entanto, em geral são mais complexas e de custo elevado, o que inviabiliza sua utilização em aplicações de baixo custo ou de produção unitária.

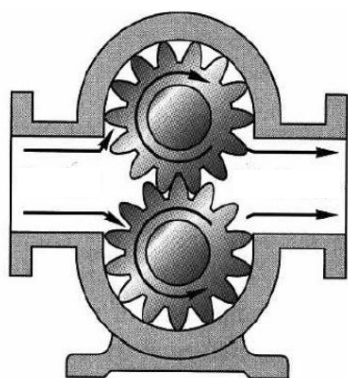


(a) *Bomba centrífuga*

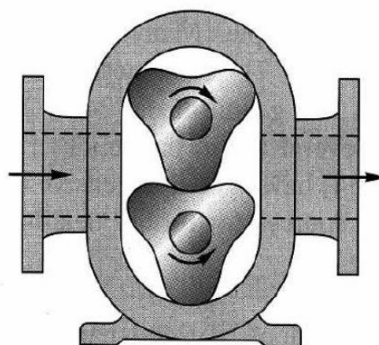


(b) *Bomba axial*

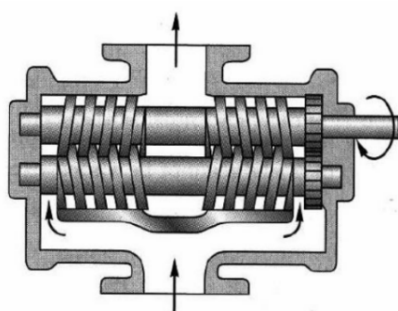
Figura 2.9: *Bombas cinéticas. Desenho em corte longitudinal.*



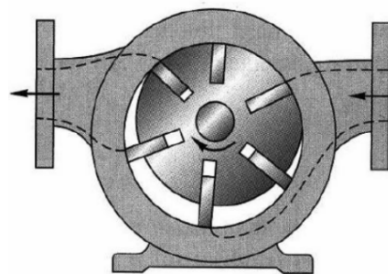
(a) *Bomba de engrenagens*



(b) *Bomba de lóbulos*



(c) *Bomba de parafuso*



(d) *Bomba de palhetas*

Figura 2.10: *Bombas volumétricas rotativas.* (KARASSIK, 2000)

## 3 PROGRAMA 1 MILHÃO DE CISTERNAS (P1MC)

*Esta seção apresenta características gerais do P1MC, tais como seu histórico e objetivos, destacando o aspecto social do programa.*

O Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semi-Árido: um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) é uma das ações do Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semi-Árido da ASA.

A Articulação no Semi-Árido Brasileiro (ASA) é uma rede de organizações da sociedade civil, que reúne mais de 700 entidades, entre elas ONGs, sindicatos de trabalhadores rurais, associações de agricultores e cooperativas de produção, que atuam na gestão e no desenvolvimento social, econômico, político e cultural da região semi-árida.

A ASA desenvolveu o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semi-árido, que abriga tecnologias sociais populares de captação e armazenamento de água para consumo humano e para a produção de alimentos. Além disso, fortalece outras iniciativas, como cooperativas de crédito voltadas para a agricultura familiar e camponesa.

### 3.1 OBJETIVOS E PÚBLICO ALVO

O P1MC visa o desencadeamento de um movimento de articulação e de convivência sustentável com o semi-árido, através do fortalecimento da sociedade civil, da mobilização, envolvimento e capacitação das famílias, com uma proposta de educação processual. O objetivo do P1MC é beneficiar cerca de 5 milhões de pessoas em toda região semi-árida, com água potável para beber e cozinhar, através das cisternas de placas.

A proposta visa garantir o acesso à água adequada ao consumo humano, por meio da formação, mobilização social e construção de cisternas de placas, para famílias de baixa renda da zona rural de municípios do Semi-árido brasileiro, que não disponham de fonte de água ou meio suficientemente adequado de armazená-la para o suprimento das suas necessidades. O P1MC não é apenas um processo de construção de cisternas, mas, principalmente, de formação e mobilização de famílias. O P1MC promove a mobilização social, a capacitação de agricultores para a gestão de recursos hídricos e o acesso descentralizado à água.

### 3.2 HISTÓRICO

A experiência prévia de utilização de cisternas para captação de água de chuva por iniciativa familiar e comunitária, com apoio de organizações de base, criou uma referência que inspirou outras experiências semelhantes e embasou a ASA na concepção do P1MC.

Um convênio firmado pela ASA com o Ministério do Meio Ambiente, em 2001, permitiu o desenvolvimento de um projeto piloto do P1MC para a construção das primeiras 500 cisternas, com o objetivo de testar os melhores modelos para a promoção da capacitação de técnicos e pedreiros das instituições e das famílias a serem beneficiadas pelo Programa.

Posteriormente, um financiamento da Agência Nacional de Águas (ANA) resultou na construção de 12.750 cisternas. Em meados de 2003, a ASA estabeleceu uma parceria com o antigo Ministério Especial de Segurança Alimentar (MESA), atual Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS), que nesse mesmo ano financiou 17.140 cisternas. A Federação Brasileira de Bancos (FEBRABAN) financiou mais 10.000 unidades, incluindo a infra-estrutura para a implantação de 48 unidades gestoras nos 11 estados em que o Programa foi implementado. (MDS, 2007)

Em abril de 2004, as metas atingidas pelo P1MC foram: 42.345 famílias mobilizadas em torno do problema de acesso à água de qualidade; 31.778 famílias capacitadas no gerenciamento de recursos hídricos; 1.789 pedreiros capacitados, e 33.597 cisternas construídas em 565 municípios (COEP, 2005). Dois anos depois, o Programa Cisternas do MDS/ASA já havia construído 107.989 cisternas, enquanto o total geral implantado pela ASA no semi-árido, com recursos do MDS e de outras fontes, atingia o número de 135.876 cisternas. Desde que surgiu, o P1MC construiu mais de 300 mil cisternas, beneficiando cerca de 1,5 milhões de pessoas.

### **3.3 RESULTADOS**

Diversas pesquisas foram conduzidas principalmente com os objetivos de verificar a melhoria nas condições de vida dos beneficiários com o acesso a recursos sustentáveis de água de qualidade e de analisar a adequação da cisterna aos requisitos técnicos do Programa. Tais avaliações são de importância fundamental para justificar a alocação de recursos, bem como fornecer subsídios para a definição de diretrizes para a continuidade do Programa.

A pesquisa “Avaliação da Sustentabilidade do Programa Cisternas do MDS em Parceria com a ASA” (MDS, 2010) foi executada pela Fundação de Desenvolvimento Regional (Funder) e Embrapa Semiárido, no período de 5 de setembro de 2008 a 26 de fevereiro de 2010. Na coleta de informações junto à população beneficiária, a pesquisa envolveu uma amostra de 1.328 famílias com cisterna instalada há pelo menos quatro anos. Essas famílias estavam distribuídas em 45 comunidades rurais de 41 municípios, espalhados em 9 estados.

O estudo concluiu que o Programa de Cisternas é uma solução efetiva para a sustentabilidade da vida no semi-árido brasileiro pela garantia de água para consumo humano proveniente da captação da água de chuva em benefício dos grupos sociais mais vulneráveis da região. Com relação à qualidade de vida, a pesquisa identificou que 94,3% dos beneficiários entrevistados declararam que houve melhoras significativas após a implantação da cisterna. Quanto à saúde, para cerca de 80% dos entrevistados, houve melhoria após a instalação da cisterna (MDS, 2010). Com relação à cobertura, a pesquisa confirmou dados de outros estudos sobre a necessidade de ampliação do Programa, visto que ainda restam mais de 600 mil de famílias não atendidas pelo Programa.



## 4 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

*Nesta seção são apresentados as características do problema abordado, bem como possíveis alternativas de solução e recomendações para a construção de novas cisternas na continuidade do Programa.*

As cisternas do Programa foram projetadas para uma capacidade de  $16\text{ m}^3$ . Suas dimensões principais e desenhos são apresentadas, respectivamente, na Tabela 4.1 e na Fig. 4.1. Tal capacidade corresponde ao volume de água necessário para o uso de uma família de até 5 membros durante 240 dias de estiagem. O gasto individual diário utilizado no cálculo, relativo ao consumo para beber e cozinhar e higiene pessoal, é de 14 litros, estimado por (SILVA et al., 1985).

Embora, observados os devidos cuidados, possam ser abastecidas com água proveniente de outras fontes como caminhões pipa, por questões de sustentabilidade e da própria concepção do Programa, as cisternas foram projetadas para receber e armazenar água da chuva. A captação é feita por um sistema de calhas instalado no próprio telhado da residência e, principalmente, por este motivo é interessante que a cisterna seja construída junto à ela. Além disso, a área do telhado e a pluviosidade da região devem ser tais que a cisterna possa ser completamente abastecida no período chuvoso.

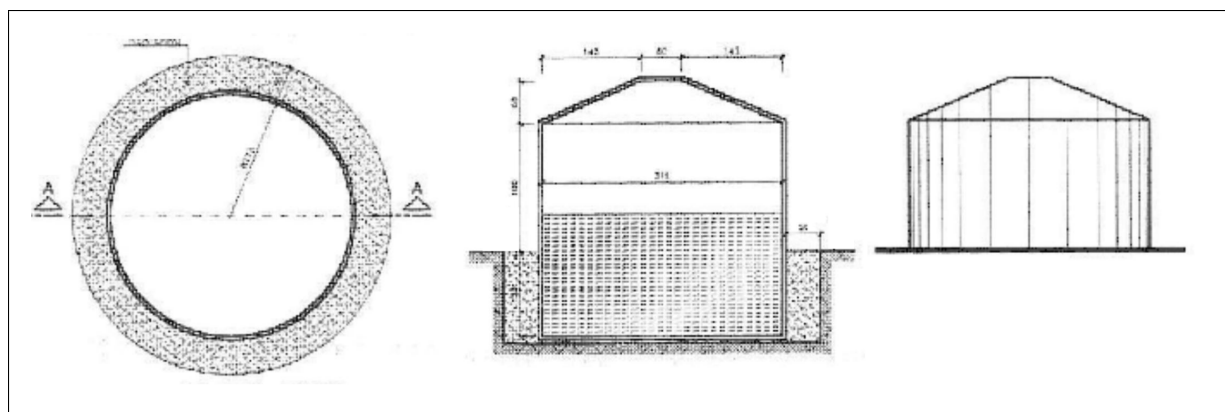
A força hidrostática sobre as paredes da cisterna é significativa e sua estrutura é bastante solicitada. Na construção das paredes são utilizadas placas de cimento e reforços circunferenciais de arame galvanizado, e a cisterna é construída parcialmente imersa no solo. Desta forma, as paredes são escoradas pelo solo em sua região mais solicitada e os esforços atenuados.

Esta técnica permite o emprego de uma estrutura mais simples e, consequentemente, a redução de custos com material. No entanto, dificulta a remoção da água quando seu nível encontra-se abaixo do nível do solo. A cisterna possui na parte superior uma tampa de metal destinada ao acesso para limpeza e manutenção de seu interior, por vezes, utilizada para remoção da água com o auxílio de baldes. Entretanto, essa prática é fortemente desaconselhada pois traz risco de contaminação, comprometendo toda a água armazenada.

A qualidade da água das cisternas, especialmente no que se refere à água para consumo humano, deve ser assumida como uma prioridade pelo programa. Deste modo, a utilização de um sistema para a remoção da água, que evite o contato direto com objetos externos, é uma necessidade do projeto destas cisternas. A proposição de uma solução para o problema de remoção da água armazenada na cisterna deve também observar as restrições impostas pelo contexto sócio-econômico da região. O baixo custo de fabricação, disponibilidade de componentes no mercado local, durabilidade e simplicidade de manutenção e de operação devem ser observados.

Tabela 4.1: *Dimensões da cisterna de placas do PIMC.*

Dimensão	Valor	Unidade
Raio	1,50	m
Altura total	2,40	m
Altura imersa	1,20	m
Altura acima do solo	1,20	m

Figura 4.1: *Desenho da cisterna do PIMC.*

#### 4.1 DISPOSTIVOS UTILIZADOS NO PROGRAMA

A pesquisa (MDS, 2010) também investigou as condições e a capacidade de manutenção das cisternas construídas como fatores de sustentabilidade do programa. A respeito de eventuais problemas físicos da estrutura da cisterna, os dados mostram que 37,1% dos entrevistados declararam que o equipamento apresentou algum tipo de problema, tais como: rachaduras, vazamentos, bomba que não funciona, tampa com defeito, entre outros. No que concerne ao manejo da água da cisterna, os pesquisadores avaliaram que em 15,1% das famílias entrevistadas o manejo era inadequado, oferecendo risco de contaminação. Segundo a avaliação dos pesquisadores em campo, 54,9% das cisternas apresentavam-se em péssimo estado de conservação - apenas 26% das cisternas observadas estariam em estado bom ou ótimo. Os principais problemas observados em campo nas cisternas foram: defeito na bomba de água, rachaduras na estrutura, problemas nas calhas e tampa com defeito.

Os diversos modelos empregados no Programa são majoritariamente bombas volumétricas alternativas de ação simples construídas com tubos e conexões em PVC, e válvulas de retenção de fabricação caseira, para tal, empregando-se ainda conexões em PVC ou esferas de vidro (*bolas-de-gude*). As válvulas utilizadas nessas bombas, tal como as próprias, são de simples construção, utilizando materiais de baixo custo e fácil acesso, e apresentam bom funcionamento representando um excelente custo-benefício em diversas aplicações de baixo custo.

Embora não tenha sido possível obter informações mais precisas à respeito do mal funcionamento das bombas utilizadas, relatos de famílias atendidas pelo Programa indicam um funcionamento irregular ou ocasional. Atribui-se a isso a maior dificuldade de operação quando em baixo nível de armazenamento, isto é, quando a altura de recalque é elevada. Nessa condição, nos instantes iniciais, o interior do dispositivo

é ocupado por ar e o funcionamento das válvulas é significativamente prejudicado. Além disso, em algumas cisternas a bomba é fixada inclinada ortogonalmente ao telhado, sendo que tais válvulas devem operar na vertical.

Além dos modelos construídos a partir de tubos e conexões de PVC, em algumas cisternas do Programa foram instaladas bombas comerciais fabricadas em aço, que apresentam custo significativamente superior às demais (cerca de R\$150,00). A Fig. 4.2 a seguir apresenta dois dos demais modelos empregados no Programa, uma bomba confeccionada a partir de componentes de PVC e outra bomba comercial fabricada em aço.



(a) Bomba de tubos e conexões de PVC pré-fabricados.



(b) Bomba comercial fabricada em aço.

Figura 4.2: Modelos de bomba manual utilizados no PIMC.

## 4.2 CONTINUIDADE DO PROGRAMA

Entretanto, para um programa social que visa uma maior autonomia das famílias atendidas no que se refere ao acesso a água para consumo, a dependência de um mecanismo de bombeamento é indesejada. O uso de um mecanismo desta sorte implica a necessidade de operações de manutenção periódica, isto é, a troca de componentes ou mesmo a sua substituição completa. Além disso, a mobilização de mais uma

frente de trabalho destinada à capacitação para a fabricação de bombas acrescenta ao Programa complexidade e custo, além do próprio custo de fabricação do dispositivo.

Nesse sentido, é interessante para o Programa que o sistema de captação e armazenamento possua elevadas robustez e durabilidade; e a presença de um sistema de bombeamento de baixo custo pode contrariar estas diretrizes. Portanto, recomenda-se minimizar ou mesmo eliminar a necessidade de um dispositivo de bombeamento através de medidas alternativas. Algumas medidas são sugeridas a seguir e carecem de análise mais aprofundada, o que foge ao propósito deste trabalho.

A forma mais simples de remoção da água, sem o auxílio de um dispositivo de bombeamento, é por meio da ação gravitacional. Considerando a cisterna imersa no solo, uma alternativa a ser explorada, referenciada por alternativa (a), é o aproveitamento de eventual declividade do terreno nas imediações da cisterna com uma mangueira enterrada, ligando a cisterna até um ponto inferior ao nível mais baixo desta, tal como representando na Fig. 4.3(a). Uma segunda opção, alternativa (b), é a construção de um estação adjacente à cisterna e em nível inferior ao solo, ao abrigo de água da chuva e com acesso através de uma escada, tal como representado na Fig. 4.3(b).

Entretanto, a alteração das cisternas já construídas para que possam se beneficiar das alternativas (a) e (b) é desaconselhada. A exemplo, a execução de um furo na lateral ou na base da cisterna para a adaptação de uma tomada d'água pode representar riscos à integridade da estrutura bem como de vazamento. Mais adiante, mesmo para a continuidade do Programa, é advertido aqui que tais alternativas carecem de estudo, haja vista o potencial impacto causado por um eventual vazamento na tomada d'água, o que comprometeria todo o armazenamento. Contudo, as alternativas (a) e (b) podem ser exploradas no caso das cisternas já construídas utilizando-se de um sifão, tal como representado pelas alternativas (c) e (d) (Figs. 4.3(c) e 4.3(d)).

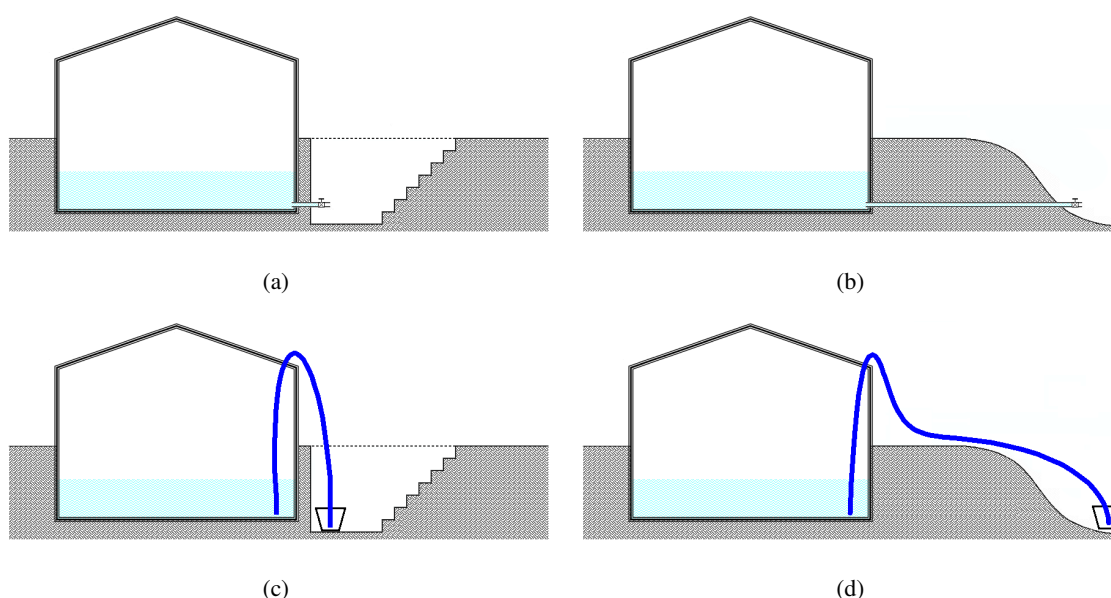


Figura 4.3: Representação das alternativas à utilização de um dispositivo de bombeamento.

Uma alternativa a ser verificada reside na construção da cisterna acima do nível do solo pelo reprojeto da estrutura tornando-a mais resistente. Mesmo sendo uma técnica amplamente difundida e empregada no

Programa, a construção da cisterna parcialmente imersa no solo traz diversos inconvenientes. Um deles, de grande importância, é a ocasião em que por mal funcionamento ou inexistência de um dispositivo de bombeamento a família beneficiária inadvertidamente faça a remoção de água da cisterna por meios que representem risco de contaminação, tal como o uso de baldes. Por este, e outros motivos identificados nesta seção, a construção da cisterna acima do solo pode ser uma alternativa a ser repensada, mesmo que represente aumento nos custos.

A Fig. 4.4 apresenta um fluxograma para a tomada de decisão no que diz respeito ao método de remoção da água do interior da cisterna considerando as alternativas apresentadas acima e a especificidade de cada caso. A utilização de um dispositivo de bombeamento é esperada apenas nos casos em que outras alternativas não puderem ser aplicadas.

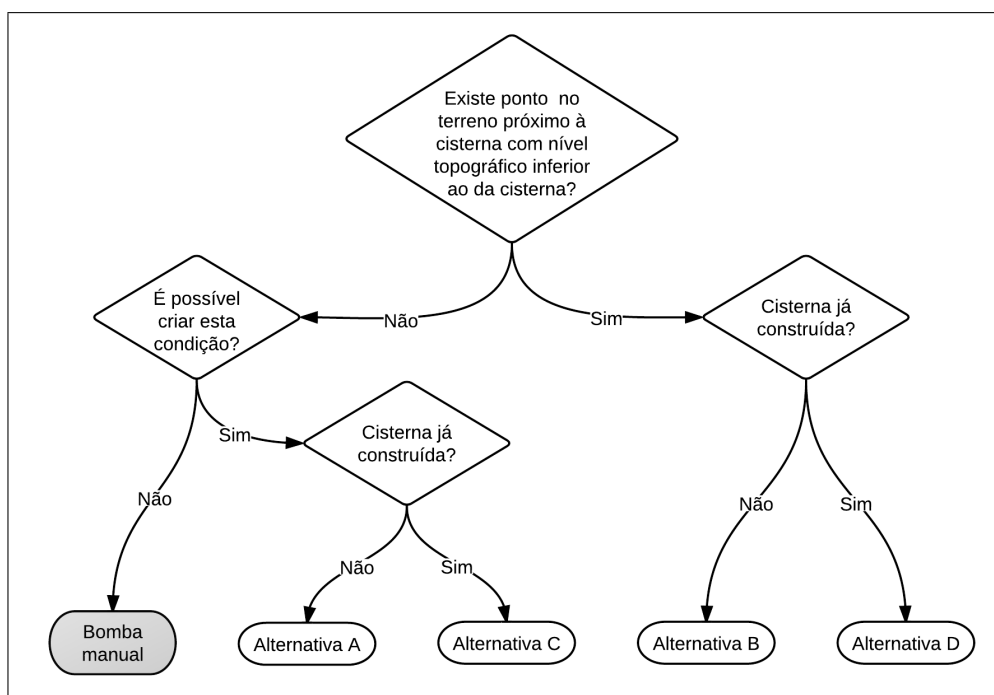


Figura 4.4: Fluxograma para tomada de decisão.

### 4.3 ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO

Para as cisternas já construídas, e também para as que serão construídas no futuro e que dependerão de um dispositivo de bombeamento, propõe-se então a apresentação de uma solução para o problema apresentado pelos modelos de dispositivos empregados no Programa, seja por uma eventual melhoria nestes ou pelo desenvolvimento de um novo dispositivo.

Para tal, é feita uma análise de quatro modelos selecionados, dos quais dois são uma concepção preliminar de dispositivos de fabricação caseira com componentes acessíveis e de baixo custo, baseados em princípios de funcionamento coerentes com a aplicação, conforme apresentado na Seção 2, e dois são um apanhado geral dos modelos de componentes em PVC (referido Modelo "C") e dos modelos de bomba comercial fabricadas em aço empregados no Programa (referido Modelo "D"), conforme descrito na Se-

ção 4.1. Tal análise visa contemplar as características gerais destes dispositivos, tais como simplicidade construtiva, custo, durabilidade, forma de acionamento, dentre outras.

### Modelo “A”

O primeiro modelo visa incorporar a utilização de um recipiente para a elevação direta da água, tal como a utilização desaconselhada de baldes, no entanto, confinando-o ao interior da cisterna. Sua suspensão, e consequente acionamento do dispositivo, é feita por meio de uma corda que atravessa o telhado da cisterna por um orifício, e, uma vez suspenso, a água escoa do balde para o exterior da cisterna por meio de uma mangueira. Seu funcionamento é representado na Fig. 4.5.

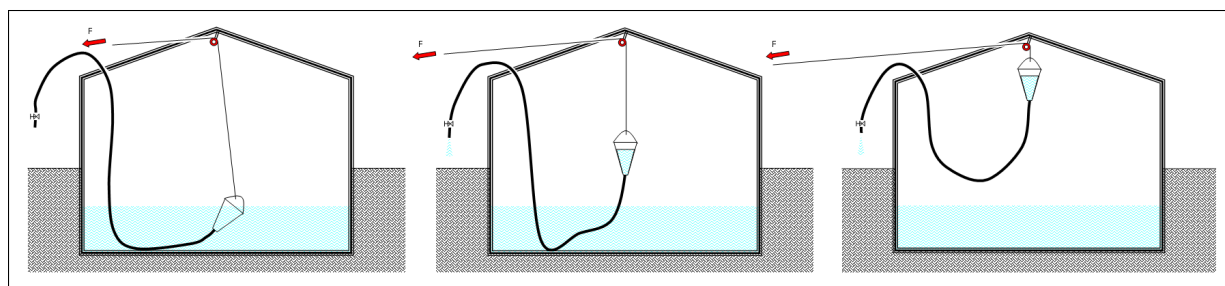


Figura 4.5: Sistema com corda, balde e mangueira.

Este modelo é de baixo custo e de simples construção e manutenção, sendo constituído principalmente de:

- Corda de *nylon* de 5 m de comprimento;
- Mangueira flexível de 1/2" e 5 m de comprimento;
- Roldana de 50 mm;
- Balde;
- Torneira.

A especificação dos componentes não é mandatória, o que confere ao processo de construção flexibilidade. Além disso, alguns destes componentes podem ser previamente possuídos pelos beneficiários, eventualmente minimizando-se o custo de fabricação.

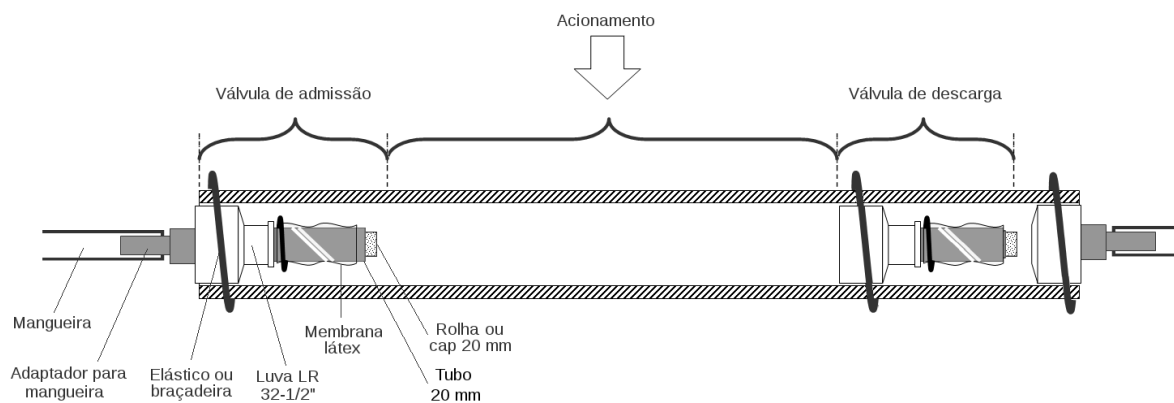
Este dispositivo apresenta a vantagem de facilitar a medição e o controle do consumo diário da água armazenada, no entanto, na condição de baixo nível de armazenamento o enchimento do balde é limitado ou dificultado. Além disso, é possível que a corda seja presa à uma trava por meio de um nó na condição de máxima elevação do balde, para facilitar a operação, restando ao operador controlar a vazão por meio da torneira.

O modelo “A” possivelmente representa uma alternativa viável, que atenderia os requisitos do problema. No entanto, a exposição da corda ao exterior da cisterna seguida da introdução na mesma durante a

operação deste dispositivo pode representar uma fonte de contaminação e no caso das cisternas já construídas, a fixação da roldana no interior da cisterna pode representar uma adaptação que possa comprometer a integridade estrutural, ou mesmo de difícil execução.

## Modelo “B”

O segundo modelo, apresentado na Fig. 4.6, é uma bomba de deslocamento positivo de diafragma que utiliza um mangote de radiador automotivo como elemento flexível e duas válvulas de fabricação caseira a partir de conexões em PVC e uma fina membrana de látex, tal como a de um preservativo.



(a) Representação esquemática.



(b) Corpo da bomba.

Figura 4.6: Bomba de diafragma com mangote de radiador automotivo.

A Fig. 4.7 ilustra a montagem do dispositivo na cisterna. Uma mangueira das extremidades da mangueira é introduzida na cisterna e a outra é acoplada na extremidade da válvula de admissão da bomba. O corpo da bomba é posicionado no chão, e ao bocal de descarga é acoplada uma outra mangueira, introduzida em um recipiente. O acionamento da bomba é feito pressionando-se repetidamente a parte central do mangote com um dos pés.

Este modelo é de baixo custo e de simples construção, sendo constituído de:

- 3 x braçadeiras para mangote (ou borracha de câmara de ar);
- 2 x cap 20 mm (ou rolha);



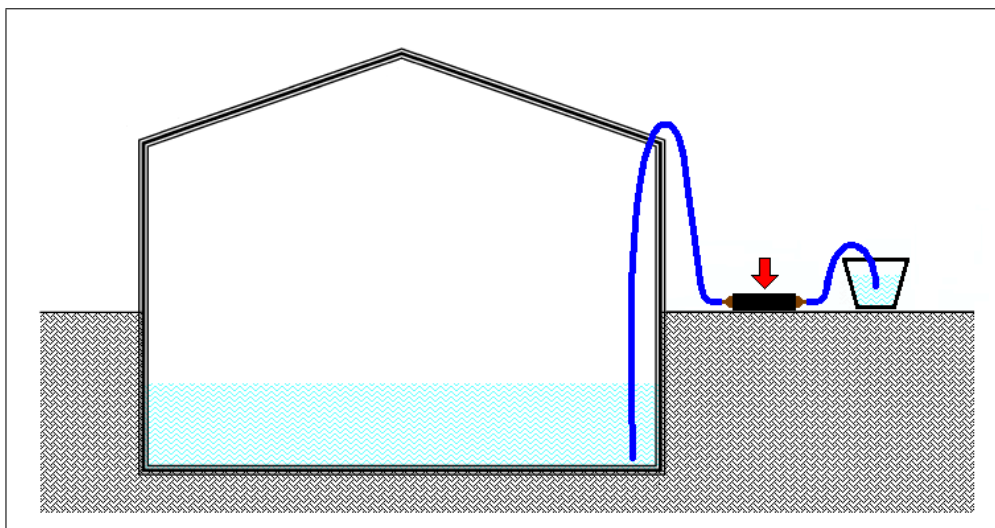


Figura 4.7: *Esquema da montagem da bomba de diafragma na cisterna.*

- 3 x Luva LR 32-1/2" PVC água fria;
- 2 x adaptador de PVC para mangueira de 1/2";
- 10 cm de tubo 20mm PVC água fria;
- 7 m de mangueira de PVC 1/2";
- Mangote flexível de radiador automotivo (diâmetro interno 32 mm);
- Membrana de látex.

As válvulas deste modelo apresentam vedação significativamente superior às válvulas construídas com elementos rígidos, como esferas de vidro, além de que seu funcionamento independe de sua orientação. Além disso, o corpo da bomba não é fixo na cisterna e é externo à esta, o que facilita sua manutenção, bastando um furo no telhado para a passagem da mangueira.

Apesar de suas válvulas serem mais eficientes, também no caso de existir ar na tubulação, e de não existir contatos deslizantes, tal como em um arranjo cilindro-pistão (perdas por fricção e por vedação insuficiente), a durabilidade deste modelo é comprometida pela deterioração prematura das membranas de látex. Além disso a pressão de sucção é causada pela restituição da deformação do mangote e pode ser insuficiente na condição de baixo nível de armazenamento.

### **Modelos empregados no Programa**

A solução adotada pelo Programa na maioria das cisternas construídas é certamente tangível, haja vista o número de cisternas já construídas em que se faz uso de dispositivos fabricados a partir de tubos e conexões em PVC. Os componentes utilizados para a fabricação destas bombas são de fácil acesso no mercado local, a construção é relativamente simples e o custo final é significativamente inferior ao custo de aquisição de uma bomba comercial fabricada em aço, também empregadas no Programa.



Ambos modelos, de componentes de PVC e fabricados em aço, ambas requerem a fixação no telhado da cisterna, evitam efetivamente o contato direto com a água armazenada e apresentam funcionamento semelhante nas condições de baixo nível de armazenamento e partida com ar na tubulação e nas válvulas, prejudicado em tais condições.

No caso das bombas fabricadas em aço, é necessário, e recomendado pelos fabricantes, que seja instalada uma válvula de pé na extremidade inferior do duto de admissão, em contato com o fundo da cisterna ou poço. Tal procedimento incrementa os custos e não isenta tal modelo de alguma instalação. Além disso, as articulações da alavanca de acionamento dos modelos fabricados em aço e as vedações de seus contatos deslizantes requerem manutenção e a exposição prolongada ao sol e à poeira pode acelerar a perda de lubrificação das articulações e a deterioração das gaxetas de vedação. Um quadro de manutenção insuficiente pode acarretar no aumento significativo da força necessária para o acionamento.

No caso das bombas de PVC o acionamento é direto, não existindo sistema de alavanca, e os contatos deslizantes apresentam relativa folga, capaz de minimizar as forças de atrito, e portanto de acionamento, sem comprometer significativamente a eficiência do dispositivo. Além disso, nessas bombas o diâmetro do cilindro é reduzido e o curso do pistão é elevado, o que também reduz a força necessária para o acionamento. No entanto, em alguns modelos a válvula de admissão não é posicionada no fundo da cisterna, tal como uma válvula de pé, prejudicando o seu funcionamento.

A Tabela 4.2 apresenta uma síntese das características de cada modelo em relação aos requisitos do problema. Além das considerações presentes nesta seção, todo o conhecimento processual de fabricação destas bombas adquirido pelas famílias mobilizadas representa parte do investimento já realizado. Portanto, a solução proposta neste trabalho é direcionada à melhoria da proposta original do Programa, tendo em vista as observações apresentadas nesta e nas seções anteriores.

Tabela 4.2: *Quadro comparativo das alternativas de solução.*

	Modelo “A”	Modelo “B”	Modelo “C”	Modelo “D”
Esforço de acionamento	Moderado a elevado. Varia em função da quantidade de água no balde.	Elevado. “Curso” e volume bombeado por ciclo reduzidos.	Baixo. Curso elevado e diâmetro do cilindro reduzido.	Moderado. Aumento do atrito nas vedações e nas articulações com a falta de manutenção
Custo	Baixo. Seus componentes eventualmente não precisam ser comprados.	Baixo a moderado. Componentes variados.	Moderado. Componentes encontrados no comércio local.	Elevado.
Construção	Significativamente simples e flexível	Dificuldade moderada e flexível.	Dificuldade moderada e baixa flexibilidade.	Comprada pronta. Instalação da válvula de pé.
Dificuldade de manutenção	Baixa.	Baixa. Corpo da bomba externo à cisterna.	Moderada. Corpo da bomba fixado na cisterna.	Moderada. Substituição das gaxetas e lubrificação das articulações.
Durabilidade	Elevada.	Baixa. Deterioração da membrana das válvulas.	Elevada.	Moderada.
Contato com agentes contaminantes	A corda usada no acionamento entra em contato com a água e com o exterior	Nulo.	Nulo.	Nulo.
Lâmina d’água delgada (altura de recalque elevada)	Enchimento incompleto do balde	Pressão de sucção insuficiente	Esforço de acionamento aumentado, perda significativa da eficiência	Esforço de acionamento aumentado, perda significativa da eficiência
Partida com ar na tubulação	Não se aplica.	Não prejudicada.	Prejudicada.	Prejudicada.
Funcionamento por sifão	Permite.	Permite.	Não permite.	Não permite.
Fixação na cisterna	Fixação da roldana. Furo para passagem da corda.	Não exige. Furo para passagem da mangueira.	Fixação do corpo da bomba no telhado da cisterna.	Fixação do corpo da bomba no telhado da cisterna
Condições ergonômicas	Suspensão direta do balde d’água.	Força de acionamento moderada.	Curso máximo elevado. Baixa força de acionamento	Curso diminuído e sistema de alavanca. Força de acionamento moderada.

## 5 SOLUÇÃO ADOTADA

*Esta seção apresenta as características gerais do dispositivo proposto, bem como a análise de seu funcionamento e manual de construção*

O principal problema apontado para o mal funcionamento dos dispositivos empregados no Programa refere-se à dificuldade de operação na condição em que o nível de água na cisterna é baixo. Nessa condição, e na configuração das bombas do Programa, a pressão de sucção eventualmente mostra-se insuficiente para elevar a coluna d'água até a válvula de admissão a uma taxa superior à velocidade com que a coluna abaixa-se devido à vedação imperfeita nesta mesma válvula. Este processo exige grande esforço do operador de modo que sua eficiência é tão maior quanto maior a velocidade de acionamento.

A solução proposta visa eliminar este problema por meio de uma configuração que minimize a altura da coluna de sucção, de modo que a válvula de admissão e o conjunto cilindro-pistão sejam posicionados no nível mais baixo da cisterna. Deste modo, o que ocorre é o recalque da coluna de água, em vez de sua sucção.

Outro aspecto que a solução proposta visa contemplar é a minimização da altura manométrica efetiva de recalque por meio da aproximação do bocal de descarga do nível do solo. Esta modificação permite a redução da potência de acionamento por meio da redução da potência útil mantendo-se inalterada a vazão de bombeamento. Além disso, na condição em que o nível de armazenamento na cisterna for superior ao nível do bocal de descarga, situado próximo ao solo, o dispositivo apresentaria funcionamento semelhante ao de um sifão.

Contudo, atender a tais aspectos trazem problemas secundários a serem contornados. Para que a altura manométrica de recalque seja efetivamente a diferença de nível entre os bocais de admissão e descarga, na situação em que estes níveis coincidem com os níveis dos reservatórios, respectivamente, de admissão e descarga, é necessário conter a entrada de ar na tubulação. Os modelos empregados no Programa apresentam funcionamento semelhante ao da configuração apresentada na Fig 2.7(a) e, neste caso, a seção mais elevada da tubulação é exposta à pressão atmosférica. A solução adotada apresenta uma configuração modificada em que o fluxo que atravessa a válvula de descarga é conduzido pelo interior da barra de acionamento e, em sua seção mais elevada é acoplada uma mangueira que conduz o fluxo até um nível mais baixo, próximo ao solo, sem que haja entrada de ar na tubulação por meio de contatos deslizantes.

O posicionamento da válvula de admissão e do conjunto cilindro-pistão no nível mais baixo da cisterna apresenta os inconvenientes de dificultar a fixação da bomba, pois alterações estruturais na base e nas laterais da cisterna são desaconselhadas, e de alongar demasiadamente a barra de acionamento, sujeita à flambagem por compressão. Para resolver estes problemas, é acoplado à extremidade superior da bomba um tubo concêntrico e de diâmetro superior ao tubo de acionamento fixando a bomba no telhado da cisterna e servindo a este como guia impedindo sua flambagem.

Tais aspectos, referentes à minimização da altura manométrica efetiva de recalque, bem como à configuração e posicionamento do corpo da bomba e das válvulas, são representados na Fig. 5.1 a seguir.

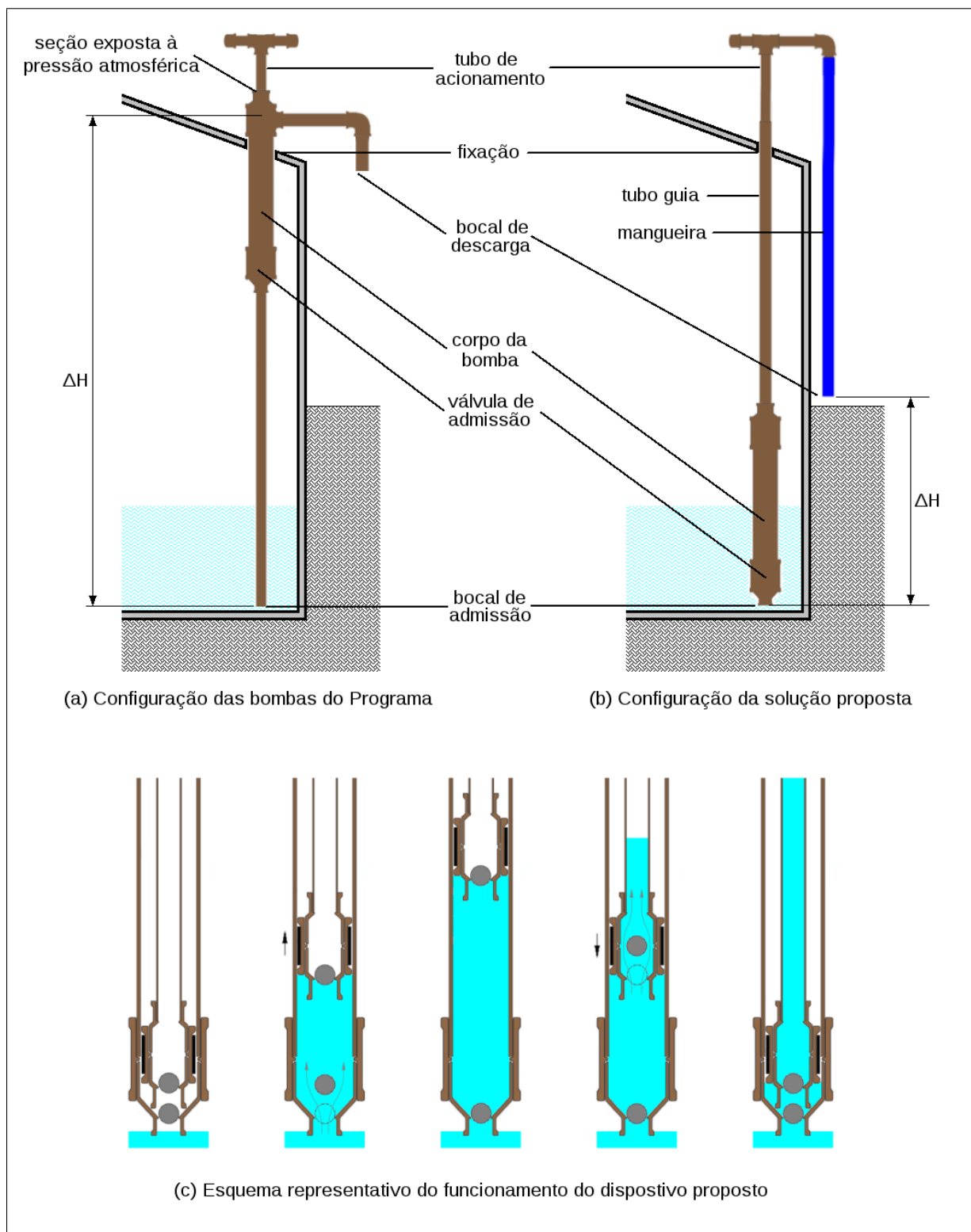


Figura 5.1: Diferentes configurações de bomba volumétrica para cisterna. Em (a) é representada a configuração de alguns dos modelos empregados no Programa e em (b) é representada a configuração do dispositivo proposto. Um esquema representativo do funcionamento do dispositivo proposto é representado em (c), com destaque à sua parte inferior vista em corte longitudinal.

Tal como alguns modelos empregados no Programa, o dispositivo aqui proposto, apresentado na Fig. 5.2, é construído a partir de tubos e conexões em PVC e esferas de vidro para as válvulas de retenção. Um aspecto negativo deste tipo de bomba, que baseia-se na utilização de conexões e tubos de PVC pré-fabricados, é a dependência de algumas dimensões não padronizadas pela norma NBR 5648 e que podem variar em função do fabricante.

A recomendação de determinados fabricantes, por seus produtos apresentarem geometria favorável ao emprego na bomba aqui proposta, é, à princípio, desaconselhada, haja vista a esparsidade geográfica dos estabelecimentos beneficiados pelo Programa. Entretanto, tal recomendação é feita no caso das bombas empregadas no Programa sem que sua fabricação seja prejudicada pois, apesar de improvável que produtos de fabricantes específicos possam ser facilmente encontrados nos comércios locais de toda a região, o acesso aos componentes, ou mesmo o dispositivo já fabricado, é facilitado, ou mesmo provido, pelas prefeituras dos municípios ou associações.

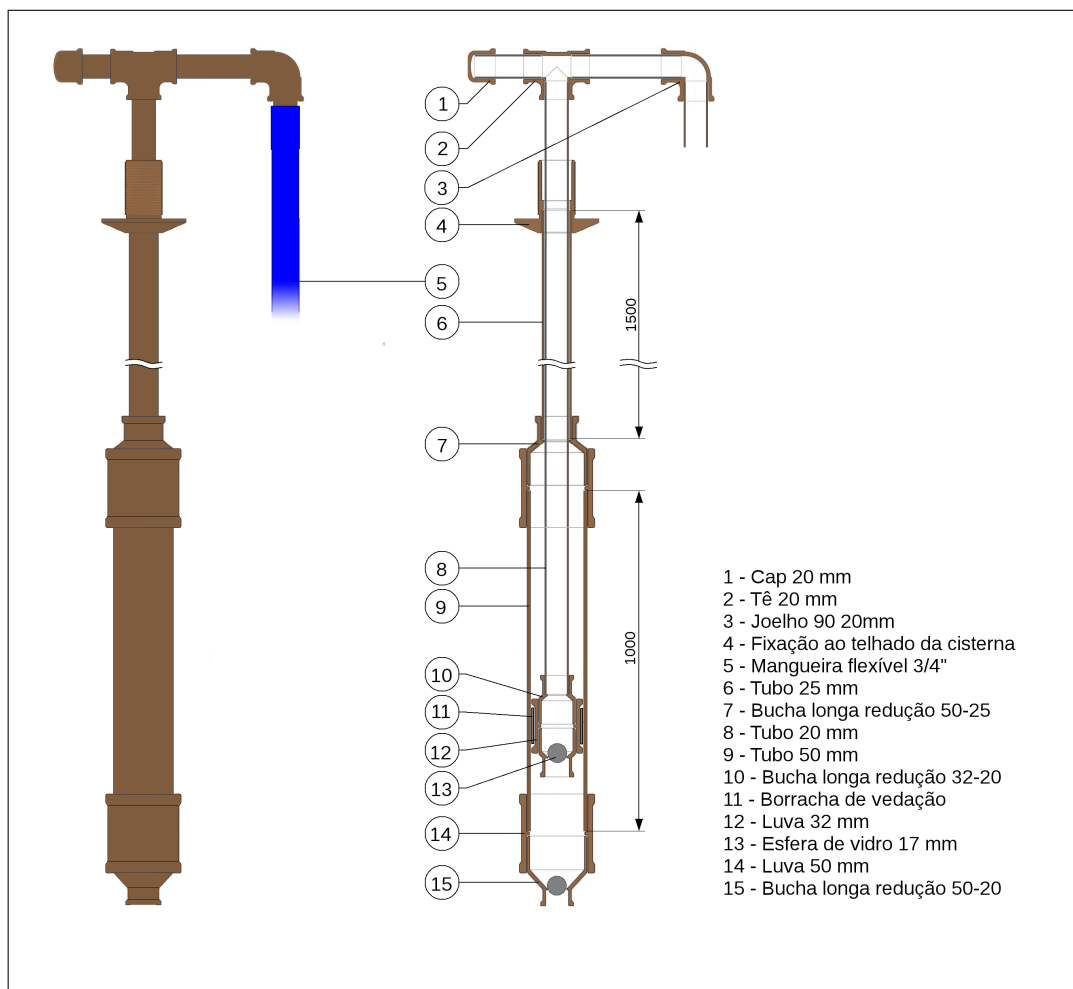
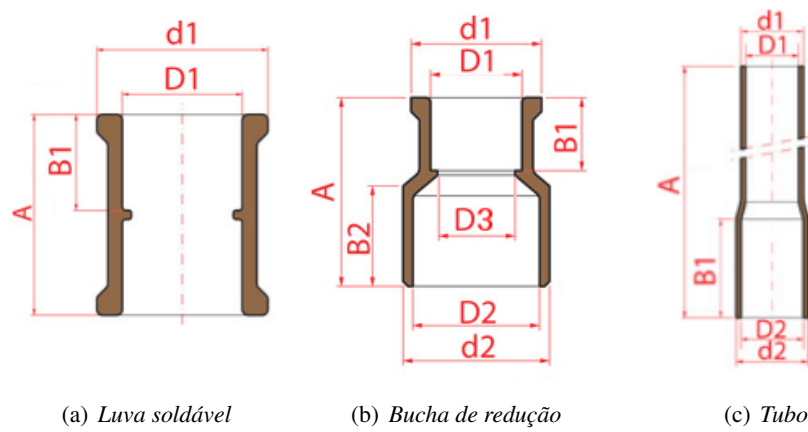


Figura 5.2: *Representação do dispositivo adotado.*

A eficiência do modelo proposto é influenciada pela vedação do contato deslizante cilindro-pistão e da sede da esfera na válvula. A vedação do contato cilindro-pistão depende do diâmetro interno do tubo de 50 mm ( $D1^{\text{tubo } 50} = 44 \text{ mm}$ ), do diâmetro interno da luva de 32 mm ( $D1^{\text{luva } 32} = 32 \text{ mm}$ ), da espessura da parede da bolsa da luva de 32 mm (valor mínimo:  $e_1^{\text{luva } 32} = 2,9 \text{ mm}$ ) e do diâmetro externo dos anéis



Componente	d1	d2	D1	D2	D3	A	B1	B2
Luva soldável 50 mm	63	-	50	-	-	66	31	-
Luva soldável 32 mm	43	-	32	-	-	46	22	-
Bucha longa de redução 50-25	34	50	25	44	-	58,3	18,5	31
Bucha longa de redução 50-20	28,5	50	20	44	16,6	57,9	16	31
Bucha longa de redução 32-20	28,5	32	20	27,8	16,6	41,4	16	22
Tubo 20 mm	20	23,1	17	20,1	-	3000	32	-
Tubo 25 mm	25	28,5	21,6	25,1	-	3000	32	-
Tubo 50 mm	50	56,2	44	56,2	-	3000	50	-

Figura 5.3: Dimensões em milímetros dos componentes principais pelo fabricante AMANCO. Figuras modificadas do catálogo do fabricante.

de reforço das extremidades da luva de 32 mm ( $d1^{\text{luva } 32}$ ), representadas na Fig. 5.3. Esta última medida não é padronizada, variando de acordo com o fabricante, e a dependência desta representaria uma grande variabilidade de eficiência entre as bombas fabricadas. Além disso, o valor desta medida no caso da maioria dos fabricantes não é satisfatória.

Para a solução deste problema, isto é, para melhorar a vedação do contato cilindro-pistão e, portanto, a eficiência da bomba, foi necessário minimizar a folga  $f_0$ , existente entre o pistão e o cilindro na parte central da luva que não apresenta os anéis de reforço, cujo valor máximo é dado por:

$$f_0 = D1^{\text{tubo } 50} - (D1^{\text{luva } 32} + 2e_1^{\text{luva } 32}) = 6,2 \text{ mm} \quad (5.1)$$

Para tal, foram testados três artifícios utilizando-se materiais de baixo custo e acessíveis. O primeiro consiste em utilizar o próprio tubo de PVC para construir anéis de segmento a serem fixados na parte central do pistão. No entanto, o valor de  $f_0$  pode ser menor do que o preenchimento de 6,0 mm obtido com os anéis de tubo de 50 mm (cuja espessura é de 3,0 mm), e o preenchimento de 3,4 mm obtido com anéis do tubo de 25 mm (cuja espessura é de 1,7 mm) é insuficiente. O segundo consiste em preencher a folga com uma corda de nylon enrolado na parte central do pistão e fixado com adesivo plástico para PVC.

O terceiro, e adotado, consiste em utilizar segmentos de borracha de câmara de ar de pneu de bicicleta sobrepostos. Tal material é de fácil acesso e apresenta baixo custo, além de apresentar diâmetro compatível

com o diâmetro externo da luva de 32 mm. O preenchimento ideal da folga é obtido com três segmentos de 35 mm de comprimento sobrepostos, sendo que com quatro segmentos a vedação é ainda melhor, mas o atrito com a superfície do cilindro passa a ser significativo e é capaz de deslocá-los até o anel de reforço da luva, provocando o travamento do pistão. A montagem final do pistão, bem como os segmentos recortados, podem ser visualizados na Fig. 5.4 a seguir.



Figura 5.4: Detalhe da vedação do contato cilindro-pistão feita com segmentos de borracha de câmara de ar de bicicleta.

O contato da esfera na sede das válvulas depende do diâmetro interno mínimo  $D_3$  das buchas de redução 50-20 mm e 32-20 mm, representado na Fig. 5.3. O diâmetro  $D_3$  também varia conforme o fabricante, porém a compatibilidade entre as buchas de redução de 50-20 e 32-20 mm e as esferas de vidro beneficia-se da variabilidade do diâmetro destas, uma vez que uma elevada precisão do diâmetro das esferas de vidro não é um dos requisitos das aplicações às quais estas normalmente se destinam, havendo relativa variação dimensional entre esferas de um mesmo lote e também entre fabricantes diferentes. É recomendado que diâmetro da esfera seja cerca de 1 a 3 mm maior do que o diâmetro interno da sede  $D_3$ , isto é, o menor diâmetro capaz de causar o bloqueio da válvula para que a perda de carga na válvula não seja elevada.

Além disso, o desvio de esfericidade das esferas de vidro é significativo e o bloqueio da válvula é obtido pelo contato desta com a superfície rígida da sede. No entanto, apesar da vedação das válvulas ser imperfeita, a adaptação de uma sede de material flexível significaria aumento da complexidade de fabricação e eventual diminuição da durabilidade do conjunto.

Adicionalmente, no caso da válvula de descarga, montada sobre o pistão, a relação entre o diâmetro da esfera e o diâmetro interno da luva de 32 mm é tal que a velocidade do escoamento é suficiente para arrastar a esfera até a parte superior da válvula, o que a faria esta bloquear o fluxo de água também no sentido contrário. Para evitar tal efeito, uma haste recortada de um dos tubos é colocada transversalmente no interior da luva impedindo o travamento da válvula, conforme apresentado nas Figs. 5.5(a) e 5.5(b).

Outro aspecto importante para o funcionamento do dispositivo proposto é a geometria do bocal de admissão. O posicionamento do bocal de admissão no fundo da cisterna pode representar aumento da perda de carga se a seção transversal da extremidade do bocal for uma coroa circular completa e esta entrar em contato com a superfície do fundo da cisterna, restringindo a passagem do escoamento. Para evitar este problema, uma solução é modificar a geometria da extremidade da bolsa de encaixe da bucha de redução de 50-20 mm conforme apresentado na Fig. 5.5(c). Deste modo, o bocal de admissão pode ser posicionado em contato com o fundo da cisterna sem que a perda de carga localizada seja significativa.

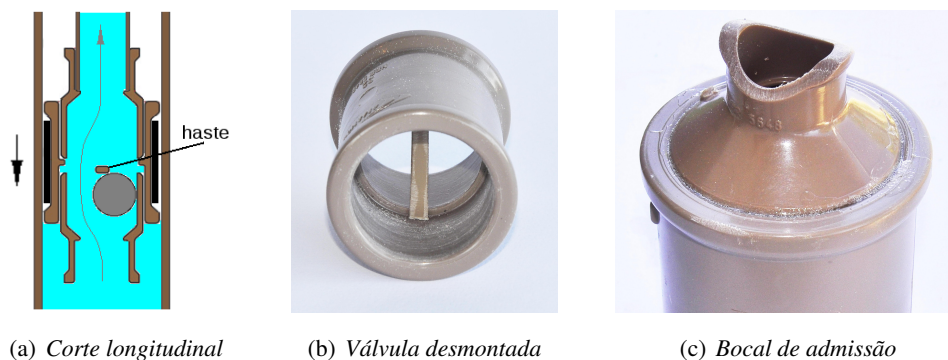
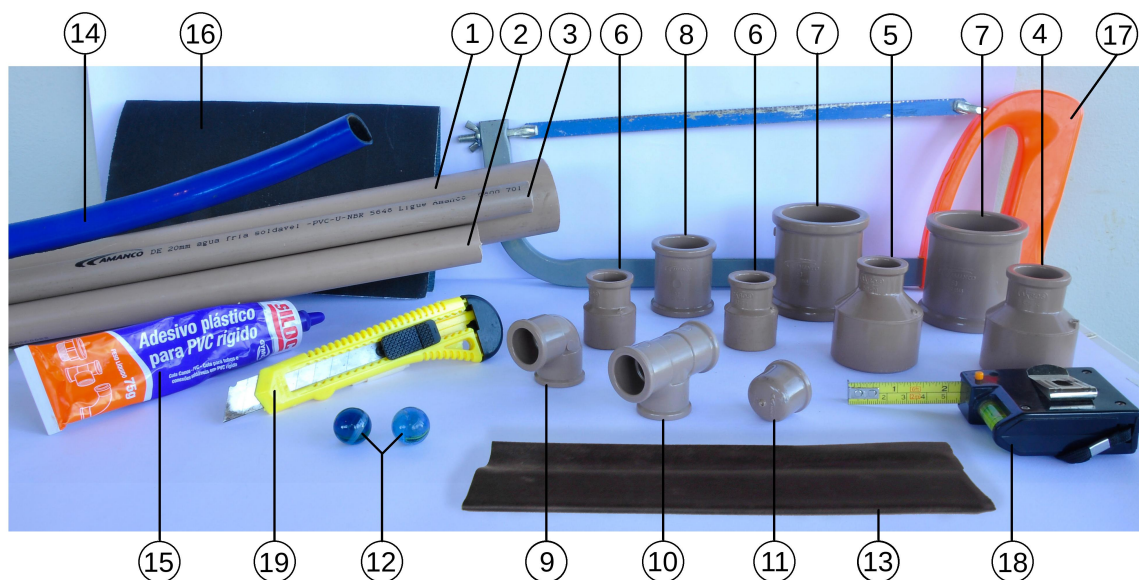


Figura 5.5: Haste no interior da válvula de descarga e geometria do bocal de admissão.

Os materiais e ferramentas necessários para a fabricação são apresentados na Fig. I.1. A Tabela 5.1 apresenta a relação dos componentes necessários para a fabricação da bomba e seus respectivos preços, relativos aos fabricantes Tigre ou Amanco e cotados em Brasília no varejo. A observar, o custo final do dispositivo pode variar significativamente em função da região, do fabricante dos componentes, e da quantidade.



- |   |   |
|---|---|
| 1) Tubo PVC Linha água fria 50mm (1 metro)      | 10) 1 x Tê PVC 20 mm                                |
| 2) Tubo PVC Linha água fria 25mm (2 metros)     | 11) 1 x Cap PVC 20 mm                               |
| 3) Tubo PVC Linha água fria 20mm (3 metros)     | 12) 2 x Bola de gude (aproximadamente 17 mm)        |
| 4) 1 x Bucha longa de redução soldável 50-25 mm | 13) Borracha de câmara de ar de bicicleta (10,5 cm) |
| 5) 1 x Bucha longa de redução soldável 50-20 mm | 14) Mangueira 3/4" (3 metros)                       |
| 6) 2 x Bucha longa de redução soldável 32-20 mm | 15) Adesivo plástico (cola) para PVC                |
| 7) 1 x Luva soldável PVC 50 mm                  | 16) Lixa G100                                       |
| 8) 1 x Luva soldável PVC 32 mm                  | 17) Arco de serra com lâmina para plástico          |
| 9) 1 x Joelho 90° PVC 20 mm                     | 18) Trena ou fita métrica                           |
|   | 19) Estilete  |

Figura 5.6: Materiais e ferramentas.



Tabela 5.1: *Relação dos componentes para a fabricação da bomba adotada. Os tubos e conexões em PVC utilizados são da linha soldável para água fria.*

Tubos em PVC e mangueiras	Diâmetro	Comprimento	Preço por metro
Tubo	50 mm	1,0 m	R\$9,40
Tubo	25 mm	2,0 m	R\$2,80
Tubo	20 mm	3,0 m	R\$2,30
Mangueira flexível	3/4"	3,0 m	R\$2,70
Conexões em PVC	Especificação	Quantidade	Preço unitário
Bucha longa de redução	50-25	1	R\$3,60
Bucha longa de redução	50-20	1	R\$3,40
Bucha longa de redução	32-20	2	R\$0,70
Luva	50	2	R\$3,80
Luva	32	1	R\$1,80
Tê soldável	20	1	R\$0,90
Joelho 90°	20	1	R\$,80
Cap	20	1	R\$,80
Total			R\$47,60

## 5.1 ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO

O dispositivo proposto foi construído e testado em uma bancada experimental simplificada, representada na Fig 5.7, capaz de simular a altura da cisterna.

A bancada consiste em quatro reservatórios principais, sendo dois semelhantes, denominados R1 e R2, constituídos de um tubo de PVC classe B de 100 mm de diâmetro e 2 metros de comprimento, dispostos na vertical e com a extremidade inferior fechada por um cap de 100 mm. Os dois tubos tiveram a parte inferior enterrada, cerca de 50 cm, e amarrados a uma mesa de concreto adjacente.

Esta montagem conferiu rigidez à estrutura e permitiu a elevação necessária da superfície de acionamento em relação ao fundo do reservatório, cerca de 120 cm, simulando a profundidade da cisterna do Programa. Além disso os tubos foram equipados, cada um, com uma mangueira transparente fixada ao longo de todo comprimento para conferência do nível de água nestes reservatórios. Os outros dois reservatórios consistem de bacias posicionadas uma, denominada R3, sobre a mesa de concreto, referente ao nível do solo no caso da cisterna real, e outra, R4, sobre o solo.

Foram conduzidos três testes principais a fim de se obter uma estimativa da eficiência do dispositivo, além de testar seu funcionamento por efeito sifão e o funcionamento com baixo nível do reservatório.

### Teste 1 - Estimativa da eficiência de bombeamento

Para a estimativa da eficiência de bombeamento o dispositivo foi posicionado no reservatório R1 e a extremidade da mangueira de descarga foi submersa no reservatório R2, conforme representado na Fig.

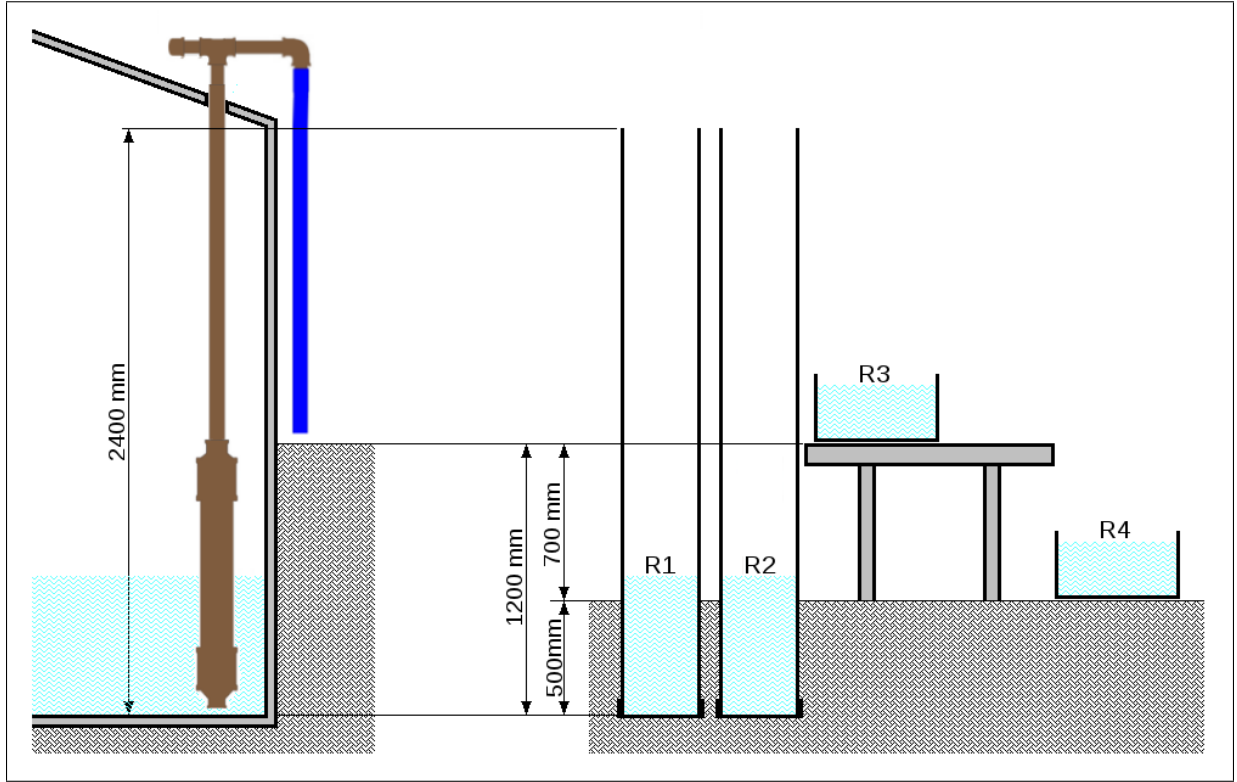


Figura 5.7: Equivalência entre a cisterna do Programa e a bancada construída para os testes do dispositivo proposto.

5.8(a). Após a remoção do ar no interior da bomba, os níveis iniciais dos reservatórios R1 e R2 foram estabelecidos, respectivamente, em  $h_{inicial}^{R1} = 1300$  mm e  $h_{inicial}^{R2} = 1197$  mm. A bomba é então posta em funcionamento e, por meio de um dinamômetro de mola fixado à manopla de acionamento, é medida a força de acionamento em cada movimento,  $F_{asc}$  e  $F_{desc}$ . O dinamômetro utilizado possui capacidade de medição de 5,0 kgf e leitura 0,5 kgf. Dada a dificuldade de medição com os instrumentos dispostos e para simplificação do procedimento, tais forças foram mantidas aproximadamente constantes durante o acionamento e os valores médios obtidos foram  $F_{asc} = 4,0$  kgf e  $F_{desc} = 2,5$  kgf. Dada a amplitude de curso do pistão e a geometria da fixação do dinamômetro à manopla de acionamento, o curso médio do pistão neste procedimento  $c = 600$  mm foi significativamente inferior ao curso máximo, de aproximadamente 1000 mm. Após nove ciclos completos, com duração total de  $\Delta t = 27,9$  s, o funcionamento foi interrompido e os níveis dos reservatórios R1 e R2 foram estabelecidos, respectivamente, em  $h_{final}^{R1} = 489$  mm e  $h_{final}^{R2} = 1832$  mm.

O volume de água bombeado  $V_{útil}$  foi

$$V_{útil} = A_2 \left( h_{final}^{R2} - h_{inicial}^{R2} \right) = \frac{\pi}{4} \left( D_{int}^{100mm} \right)^2 \left( h_{final}^{R2} - h_{inicial}^{R2} \right) = 4,790 \text{ l} \quad (5.2)$$

onde  $A_2$  é a área da seção transversal do reservatório R2 e  $D_{int}^{100mm} = 98$  mm é o diâmetro interno do tubo de 100 mm, e a vazão média  $Q$

$$Q = \frac{V_{útil}}{\Delta t} = 1,72 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 10,3 \text{ l/min.} \quad (5.3)$$

A observar, tal vazão equivale a esvaziar completamente a cisterna com cerca de 6 minutos diários de

bombeamento durante 8 meses.

A elevação obtida do centro de gravidade do volume útil  $h_{CG}$  pode ser aproximada por

$$\Delta h_{CG} = \frac{h_{final}^{R2} + h_{inicial}^{R2}}{2} - \frac{h_{final}^{R1} + h_{inicial}^{R1}}{2} = 0,620 \text{ m} \quad (5.4)$$

e o trabalho útil  $W_{\text{útil}}$  é então estimado como

$$W_{\text{útil}} = \rho g V_{\text{útil}} \Delta h_{CG} = 29,1 \text{ J} \quad (5.5)$$

onde  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  é a massa específica da água e  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  é a aceleração gravitacional. O trabalho total demandado  $W_{total}$  pode ser estimado como

$$W_{total} = nc(F_{asc} + F_{desc}) = 344,3 \text{ J.} \quad (5.6)$$

onde  $n = 9$  é o número de ciclos. A eficiência  $\eta$  estimada é então calculada pelo quociente entre o trabalho útil  $W_{\text{útil}}$  e o trabalho total demandado  $W_{total}$

$$\eta = \frac{W_{\text{útil}}}{W_{total}} = 8,5\%. \quad (5.7)$$

Vale ressaltar que o resultado obtido não reflete necessariamente a eficiência energética do dispositivo, mas sim aquela do processo ocorrido nas circunstâncias descritas. Este fato é mais facilmente observado nos instantes iniciais, isto é, quando os níveis dos reservatórios são próximos. Nessa condição, o trabalho útil é mínimo, nulo quando os níveis coincidem. Se comparmos este cenário ao caso em que a descarga é feita no ponto mais elevado da bomba, tal como nos outros modelos, o trabalho útil nessa situação hipotética seria diferente de zero, porque a altura manométrica efetiva de bombeamento é também diferente de zero. No entanto, mesmo que as *eficiências dos dispositivos* fossem, hipoteticamente, idênticas, o resultado obtido pelo desenvolvimento realizado nos parágrafos anteriores, isto é, a *eficiência do processo* nas circunstâncias descritas, seria diferente.

Em consideração apenas ao resultado obtido, é sabido que a metodologia de medição utilizada fornece resultados cuja incerteza é desconhecida, superior à incerteza dos instrumentos de medição utilizados, embora sabido que durante a realização do teste a força de acionamento não superou a capacidade do dinamômetro. Entretanto, o resultado obtido é uma estimativa e seu cálculo preciso demandaria instrumentação adequada, tal como uma bancada dotada de uma célula de carga e de um sistema de aquisição de dados para a obtenção da força de acionamento. Tanto a obtenção de tal resultado com precisão quanto o projeto de uma bancada devidamente instrumentada para os testes fogem ao escopo deste trabalho.

Uma forma mais qualitativa, embora mais eficaz, de analisar a eficácia da bomba desenvolvida se dá por meio da estimativa da potência de acionamento requerida,  $P_r$ , que pode ser obtida por:

$$P_r = \frac{W_{total}}{\Delta t} = 12,3 \text{ W.} \quad (5.8)$$

Tal como a eficiência do dispositivo, a potência requerida varia em função da velocidade de acionamento. No entanto, a velocidade empregada durante o teste é consequência da força de acionamento, sendo que esta foi coerente com uma faixa de valores aceitáveis para uma pessoa adulta.

Considerando a eficiência do corpo humano igual à 20%, tal como discutido na Seção 2.1, e considerando também o gasto energético devido ao metabolismo basal de 75 W, para uma atividade cuja potência mecânica útil é de 15 W, o gasto energético da referida atividade é de 150 W. Considerando ainda os dados apresentados na Tabela 2.1, o gasto energético estimado nas condições do teste realizado é comparável ao de uma atividade física de intensidade leve. A observar, o volume de água bombeado,  $V_{\text{útil}} = 4,79 \text{ l}$ , e o tempo gasto,  $\Delta t = 27,9 \text{ s}$ , são perfeitamente compatíveis com o nível de esforço físico demandado.

## Teste 2 - Funcionamento como sifão

No teste do funcionamento como sifão, esquematizado na Fig. 5.8(b), a bomba foi posicionada no reservatório R1 e a extremidade da mangueira de descarga foi submersa no reservatório R3. O nível de R1, após o a remoção do ar em todo interior da bomba, foi estabelecido em 580 mm acima do nível de R3. Após um ciclo de funcionamento com curso incompleto o dispositivo passa a funcionar por efeito sifão enquanto for mantida suspensa a haste de acionamento acima de sua posição de descanso e até que o nível dos dois reservatórios se iguale. O teste realizado foi cronometrado e, durante o funcionamento por efeito sifão, houve uma variação  $\Delta h_{\text{sifão}} = 344 \text{ mm}$  do nível de 1 em  $\Delta t_{\text{sifão}} = 16,1 \text{ s}$ .

A vazão volumétrica média obtida por efeito sifão no teste especificado foi obtida por:

$$Q_{\text{sifão}} = A_1 \frac{\Delta h_{\text{sifão}}}{\Delta t_{\text{sifão}}} = \frac{\pi}{4} \left[ \left( D_{\text{int}}^{100\text{mm}} \right)^2 - \left( D_{\text{ext}}^{25\text{mm}} \right)^2 \right] \frac{\Delta h_{\text{sifão}}}{\Delta t_{\text{sifão}}} = 1,51 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 9,0 \text{ l/min} \quad (5.9)$$

onde  $A_1$  é a área efetiva, no intervalo dos níveis estabelecidos no teste, da seção transversal de 1 portando a bomba e  $D_{\text{ext}}^{25\text{mm}} = 25\text{mm}$  é o diâmetro externo do tubo de 25 mm. A área efetiva  $A_1$  foi assim calculado pois o volume ocupado pela bomba no interior de 1 é significativo.

## Teste 3 - Funcionamento em lâmina d'água de pequena espessura

No teste de funcionamento com baixo nível do reservatório, a bomba foi posicionada no reservatório R4, inicialmente vazio, e a mangueira de descarga, com extremidade exposta à pressão atmosférica, no reservatório R3. O nível de R4 foi estabelecido em cerca de 200 mm e a bomba foi acionada até que o volume de água efetivamente bombeado a cada ciclo fosse nulo. Ao fim deste procedimento, e antes que a água no interior da bomba retornasse pela válvula de admissão, o nível residual de R4 foi estabelecido em cerca de 15 mm. A bomba é incapaz de succionar a água do reservatório com nível inferior a 15 mm pois, dados a vazão mínima de trabalho, o diâmetro de entrada da válvula de admissão e o ressalto necessário para evitar o bloqueio da válvula pelo contato com o fundo do reservatório, o fluxo de água é interrompido pela sucção de ar.

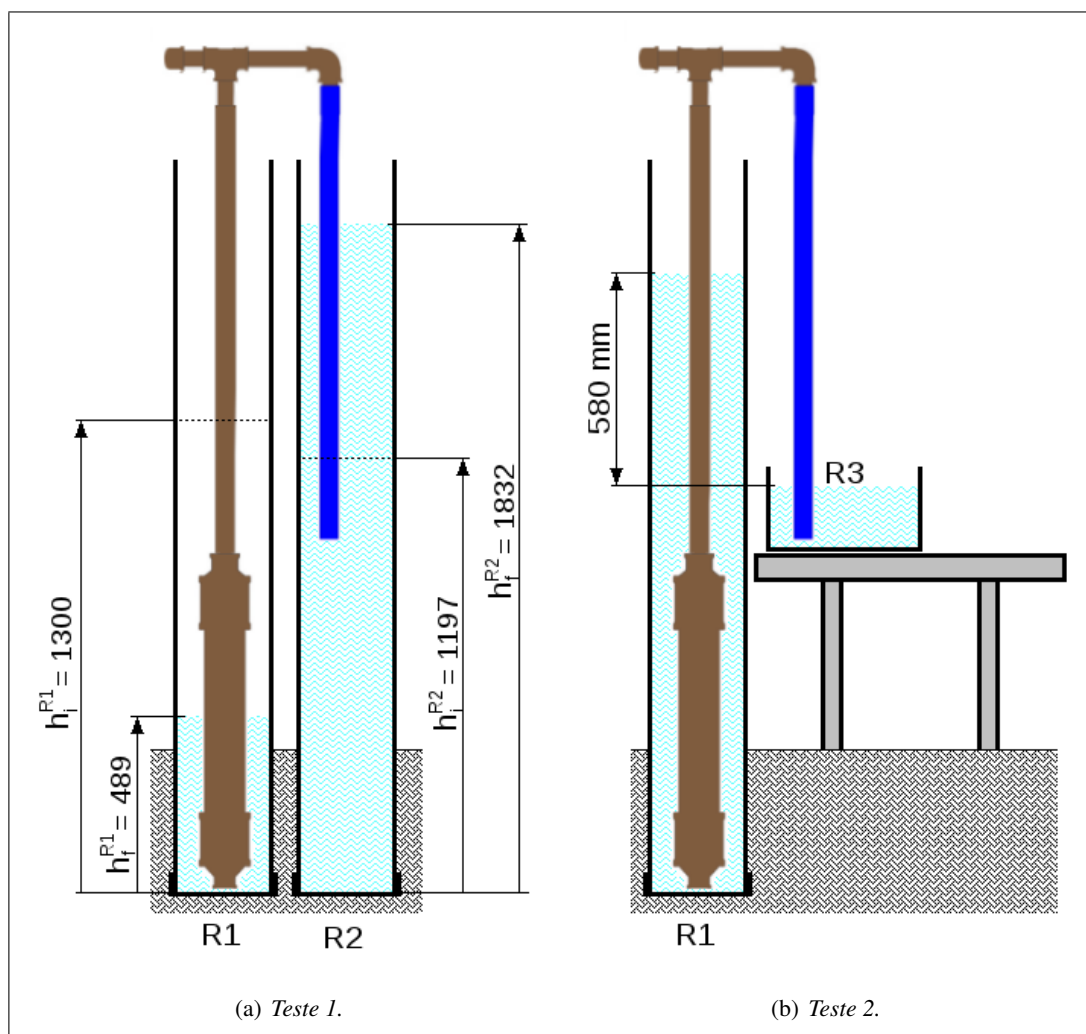


Figura 5.8: Esquemas representativos das montagens dos testes realizados.

## 6 CONCLUSÕES

O dispositivo desenvolvido neste trabalho apresenta-se como uma alternativa para solução do problema de bombeamento das cisternas do P1MC. O dispositivo desenvolvido é fabricado a partir de tubos e conexões em PVC tal como os outros modelos empregados nas mais de 300 milhões de cisternas construídas pelo Programa, o que comprova sua viabilidade.

Os requisitos iniciais quanto à simplicidade de construção e baixo custo foram atendidos. Para a fabricação, além dos componentes em PVC possíveis de serem encontrados no comércio local e sem restrição de fabricantes, todos os materiais e ferramentas são de fácil acesso e não é necessário o uso de energia elétrica.

Considerando que os modelos empregados no Programa tem apresentado mal funcionamento, o dispositivo proposto foi desenvolvido visando-se superar as dificuldades encontradas, dentre elas o mal desempenho na condição de baixo nível de armazenamento na cisterna. Para tal, buscou-se a minimização da altura manométrica efetiva de recalque e adaptou-se a configuração da bomba para diminuir a coluna de sucção, aproximando as válvulas do fundo do reservatório. Em tal condição, a bomba foi capaz de operar até que o volume residual no reservatório correspondesse à uma altura de 15 mm, isto é, nas cisternas do Programa, cerca de 100 litros de um total de 16 mil litros.

O funcionamento como sifão, tal como idealizado, foi validado. A remoção da água da cisterna com nível de armazenamento superior ao nível do solo, ou seja, durante os primeiros quatro meses de estiagem, pode ser feita por efeito sifão, sendo necessário o primeiro ciclo de acionamento para iniciar o processo. Adicionalmente, este recurso diminui a força necessária para o bombeamento da água da cisterna quando o nível encontra-se abaixo do solo. Adicionalmente, caso permitido pela topografia do terreno nas imediações da cisterna, o bocal de descarga pode ser posicionado em um nível ainda mais baixo, reduzindo-se ainda mais o período em que o bombeamento é necessário.

Em análise da estimativa obtida para a potência de acionamento necessária para o bombeamento da água no período em que o nível do reservatório impossibilita o funcionamento por efeito sifão, conclui-se que é demandado esforço físico comparável ao de uma atividade física de baixa intensidade, conforme desenvolvimento presente na Seção 5.1 e dados apresentados na Tabela 2.1. Adicionalmente, a vazão obtida em tais condições é aceitável, equivalente ao suprimento do consumo diário de água com o acionamento da bomba durante cerca de seis minutos diários. A observar, tal nível de esforço físico diário é perfeitamente admissível para um adulto saudável, além de que durante os testes realizados foi constatado que uma criança de 10 anos de idade foi capaz de operar o dispositivo com êxito.

Embora viável e eficiente, um dispositivo de bombeamento pode não ser necessário para a remoção da água armazenada na cisterna sem que ocorra sua contaminação. Para as cisternas a serem construídas com a continuidade do Programa, as alternativas em que se aproveita eventual declividade do terreno adjacente ou em que é construída uma estação em nível inferior à cisterna podem apresentar melhores resultados, considerando o caráter sustentável do Programa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACSM American College of Sports Medicine. *Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 4th edition. Philadelphia: Lea Febiger, 1991, p. 285-300.
- H. A. BENT *Energy and exercise. I: How much work can a person do?* Journal of Chemical Education 55: 456-458, 1978.
- ASA, *Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semi-árido: Programa Um Milhão de Cisternas Rurais*. Disponível em: <[http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD\\_MENU=1150](http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=1150)> Acessado em: julho de 2012.
- BRASIL. *Ministério da Integração Nacional. Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Ciência e Tecnologia. Portaria Interministerial no. 1, de 09 de março de 2005*. Diário Oficial, Brasília, 11 de março de 2005.
- L. T. de L. BRITO, E. R. PORTO, A. de S. SILVA, J. GNADLINGER, G. H. S. XENOFONTE, *Análise da qualidade das águas de cisternas em cinco municípios do semi-árido brasileiro*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, Florianópolis, 2005.
- J. M. DIRKEN, *Productergonomie, Ontwerpen voor gebruikers*. Delft University of Technology. 1997.
- EMBRAPA, *Avaliação de Impacto Social e dos Processos de Seleção e Capacitação do Programa Cisternas do MDS/PIMC - ASA*. 2006.
- P. L. FRAENKEL, *Water lifting devices, Rome, food and agriculture organization of the United Nations*. 1986, ISBN 92-5-102515-0 17.
- I. J. KARASSIK, J. P. MESSINA, P. COOPER, C. C. HEALD, *Pump Handbook*. McGRAW-HILL, Third Edition, 2000.
- MDS. *Ministério do Desenvolvimento Social. Avaliação Ambiental da Performance do Programa Cisternas do MDS em parceria com a ASA: índice de Sustentabilidade Ambiental*. Funder/Embrapa semi-árido, 2005.
- MDS, *Avaliação de Políticas e Programas do MDS - Resultados - Segurança alimentar e nutricional*. Volume I, Brasília, maio de 2007.
- MDS, *Avaliação da Sustentabilidade do Programa Cisternas do MDS em Parceria com a ASA (água-Vida)*. Funder-Embrapa Semiárido, Secretaria de Avaliação e Gestão da Informação, Brasília, fevereiro de 2010.
- MDS, *Desenvolvimento Social em Debate: Síntese das pesquisas de avaliação de programas sociais do MDS*. N. 5, ISSN 1808-0758, 2007.
- MDS, *Desenvolvimento Social em Debate: Programa Cisternas: um estudo sobre a demanda, cobertura e focalização*. N. 7, ISSN 1808-0758, 2007.
- MDS, *Fome Zero: Uma História Brasileira*. Volume 1, Brasília, 2010.
- MDS, *Desenvolvimento Social e Combate à Fome no Brasil: balanço e desafios*. Brasília, DF: MDS; Secretaria de Avaliação e Gestão da Informação, 2010.
- MDS, *Projeto técnico para celebração de convênio com o MDS, no Âmbito do Projeto Cisternas*. Recife, 2007.
- MI, *Grupo de trabalho interministerial para redelimitação do semi-árido nordestino e do polígono das secas*. Brasília, 2005.

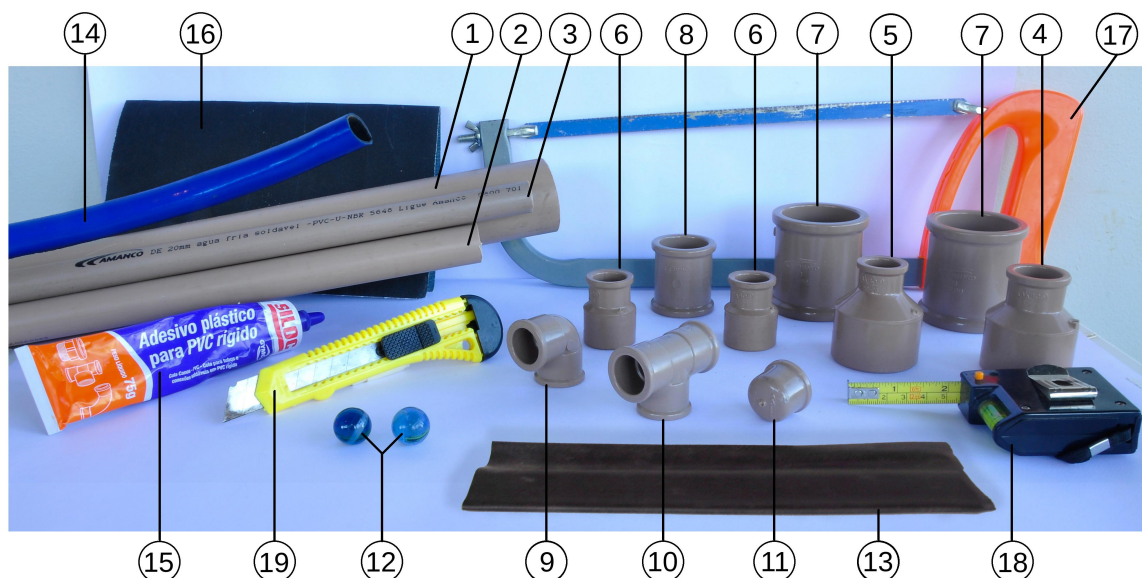
- J. NEEDHAM, *Science and Civilisation in China*. ISBN 9780521327282, Cambridge University Press, 1965.
- J. P. OLESON, *Water-lifting*. in Wikander, Orjan, *Handbook of Ancient Water Technology, Technology and Change in History*, 2, Leiden, Brill, pp. 217-302, ISBN 90-04-11123-9, 2000.
- A. DE S. SILVA, *Avaliação Ambiental da Performance do Programa Cisternas do MDS em Parceria com a ASA. Relatório Técnico Analítico Final*. Petrolina, FAGRO, 2006.
- A. DE S. SILVA, L. T. de L. BRITO, *Captação e conservação de água de chuva no semi-árido brasileiro: cisternas rurais II; água para consumo humano*. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1988. (EMBRAPA-CPATSA. Circular técnica, 16).
- WATERAID, *Technology notes*. Disponível em: <[http://www.wateraid.org/documents/plugin\\_documents/technology\\_notes\\_2011.pdf](http://www.wateraid.org/documents/plugin_documents/technology_notes_2011.pdf)> Acessado em: julho de 2012.
- F. R. WHITT, D. G. WILSON. *Human power generation*. In *Bicycling Science* (Second Edition). MIT Press, Cambridge, 1982.





# I. MANUAL DE CONSTRUÇÃO

Lista de materiais e ferramentas (Fig. ??):



- |   |   |
|---|---|
| 1) Tubo PVC Linha água fria 50mm (1 metro)      | 10) 1 x Tê PVC 20 mm                                |
| 2) Tubo PVC Linha água fria 25mm (2 metros)     | 11) 1 x Cap PVC 20 mm                               |
| 3) Tubo PVC Linha água fria 20mm (3 metros)     | 12) 2 x Bola de gude (aproximadamente 17 mm)        |
| 4) 1 x Bucha longa de redução soldável 50-25 mm | 13) Borracha de câmara de ar de bicicleta (10,5 cm) |
| 5) 1 x Bucha longa de redução soldável 50-20 mm | 14) Mangueira 3/4" (3 metros)                       |
| 6) 2 x Bucha longa de redução soldável 32-20 mm | 15) Adesivo plástico (cola) para PVC                |
| 7) 1 x Luva soldável PVC 50 mm                  | 16) Lixa G100                                       |
| 8) 1 x Luva soldável PVC 32 mm                  | 17) Arco de serra com lâmina para plástico          |
| 9) 1 x Joelho 90° PVC 20 mm                     | 18) Trena ou fita métrica                           |
|   | 19) Estilete  |

Figura I.1: *Materiais e ferramentas.*

## Observações:

- Verifique se as buchas de redução 50-20 e 32-20 bloqueiam a passagem das bolas de gude. Se as bolas de gude podem passar por dentro dessas buchas é preciso usar bolas de gude maiores.
- O pedaço de borracha de câmara de ar de bicicleta deve ser mantido no formato tubular e não deve apresentar remendos.
- Leia atentamente as instruções de utilização do adesivo plástico para PVC descritas na embalagem.
- O manuseio das ferramentas cortantes deve ser feito com atenção.

### Montagem final e partes principais:

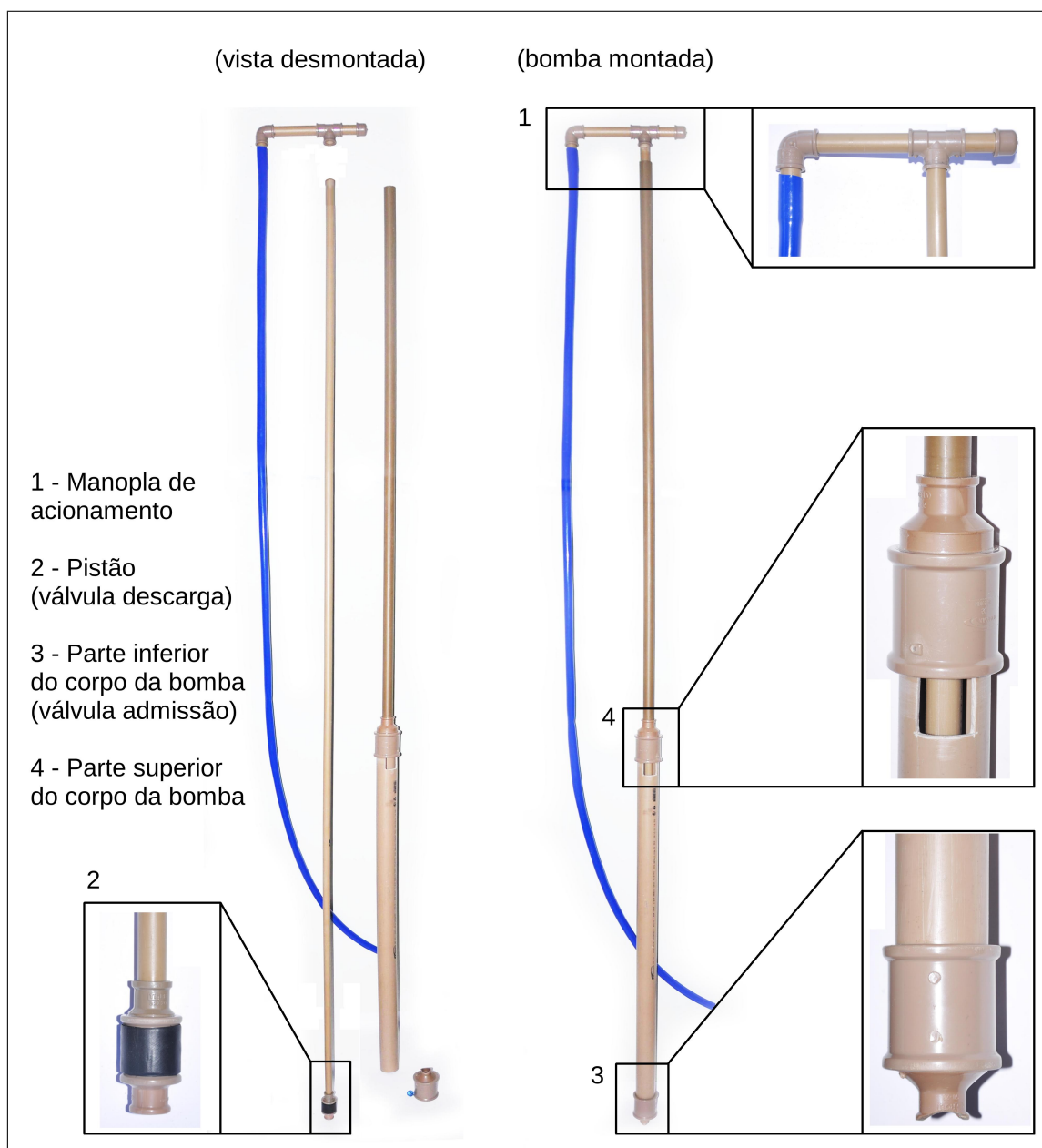


Figura I.2: Montagem final e partes principais destacadas.

O procedimento descrito a seguir apresenta 6 etapas referentes à sequência de montagem das partes principais destacadas na Fig. I.2, à montagem final e à fixação na cisterna.

## Procedimento de montagem:

### 1. Montagem da manopla de acionamento (Fig. I.3):

- (a) Use a trena e o estilete para medir e marcar dois segmentos de 6 cm e um de 12 cm no tubo de 20mm;
- (b) Corte os segmentos usando a serra de mão e, em seguida use a lixa para remover as rebarbas;
- (c) Conecte os segmentos ao joelho de 90° ao tê e ao cap conforme apresentado na Fig. I.3(c).

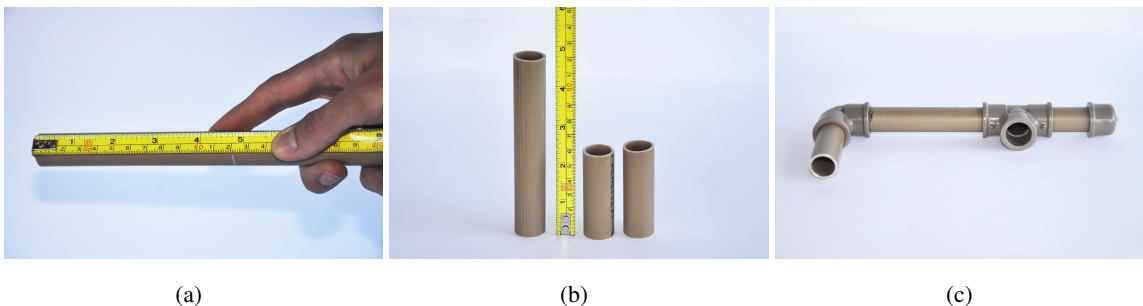


Figura I.3: *Sequência de montagem da manopla de acionamento.*

### 2. Montagem do pistão (Fig. I.4):

- (a) Usando a serra, faça dois cortes paralelos na extremidade do tubo de 20 mm distantes de 0,5 cm um do outro e com 3,5 cm de comprimento;
- (b) Remova a haste obtida e lixe-a para remover as rebarbas;
- (c) Encaixe-a no interior da luva de 32 mm. Lixe até que possa ser encaixada com firmeza;
- (d) Lixe as superfícies externas das buxas de redução 32-20;
- (e) Coloque a bola de gude dentro da luva no lado da haste;
- (f) Aplique a cola e una a luva à bucha de redução no lado da haste;
- (g) Verifique se a haste está firme e que a bola de gude está presa;
- (h) Aplique cola na segunda bucha de redução 32-20;
- (i) Una-a à luva e deixe a montagem secar;
- (j) Lixe o ressalto lateral da luva de 32 mm limpando-a em seguida;
- (k) (detalhe da lateral lixada da luva de 32mm);
- (l) Corte 3 segmentos de borracha de 3,5 cm. Lave-os com água e detergente e seque-os;
- (m) Vista o pistão com os 3 segmentos de borracha conforme apresentado na Fig. I.4(m).

### 3. Montagem da parte inferior do corpo da bomba (Fig. I.5):

- (a) Cole a luva de 50 mm à bucha de redução 50-25 lixando antes as superfícies;
- (b) Usando a serra faça um corte inclinado no anel de reforço da bucha de redução;

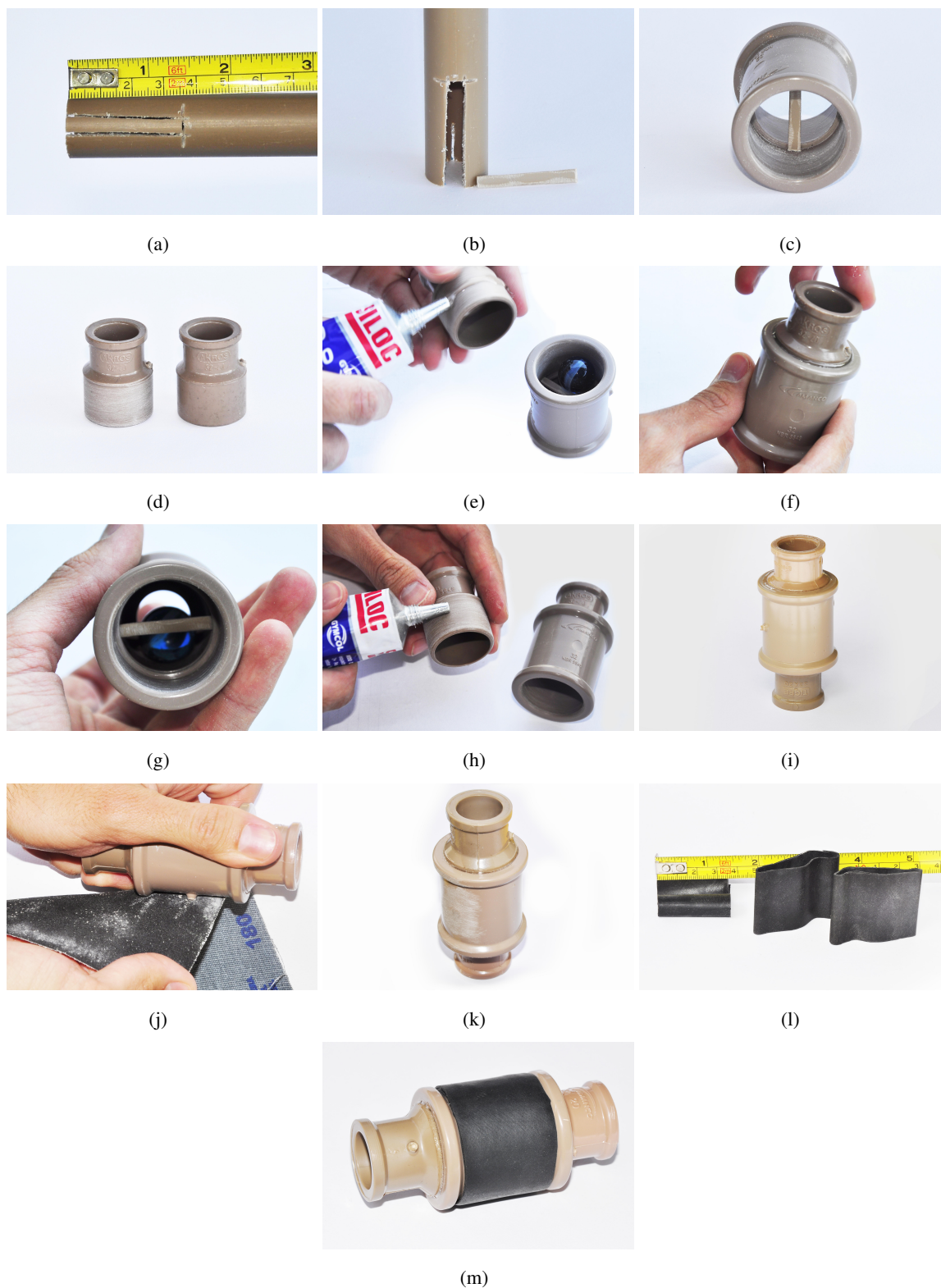


Figura I.4: Sequência de montagem do pistão.

- (c) (detalhe do corte);
- (d) Gire o conjunto em meia volta e faça outro corte inclinado;
- (e) (detalhe do corte);



(f) Lixe para remover as rebarbas.

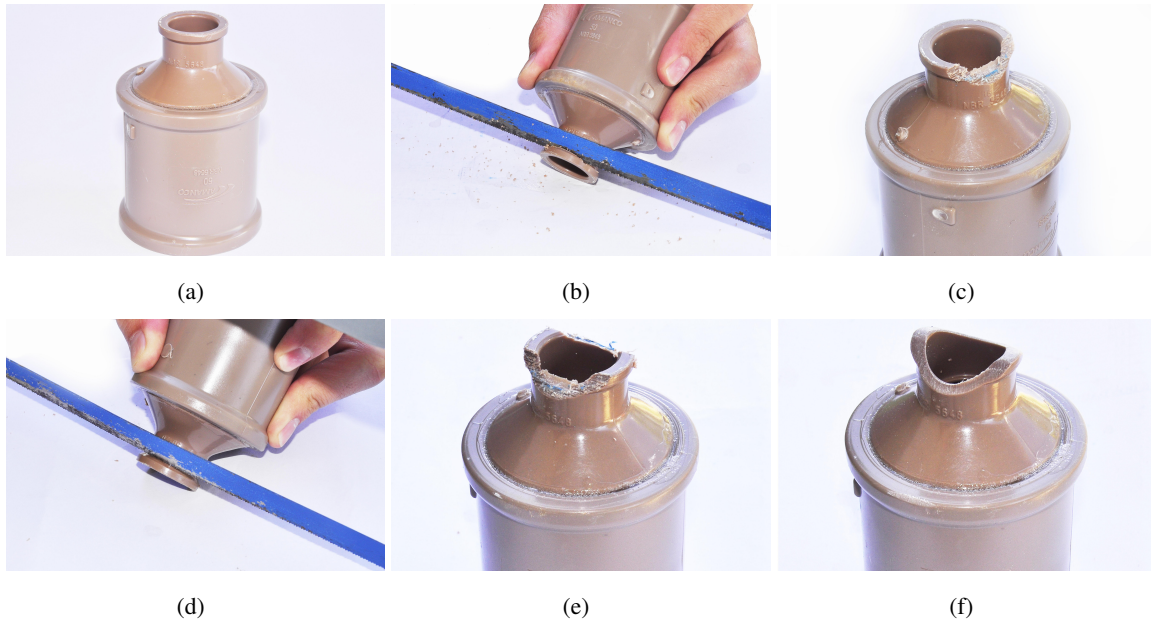


Figura I.5: Sequência de montagem da válvula de admissão.

4. Montagem da parte superior do corpo da bomba (Fig. I.6):

- (a) Cole a segunda luva de 50mm e a bucha de redução 50-25;
- (b) (detalhe da montagem);
- (c) Faça dois cortes paralelos na extremidade do tubo de 50 mm distantes de 3 cm um do outro e com 6 cm de comprimento;
- (d) (detalhe do segundo corte);
- (e) Faça um terceiro corte transversal aos dois primeiros, conforme apresentado na Fig. I.6(e);
- (f) (detalhe das dimensões do retângulo);
- (g) (detalhe das dimensões do retângulo);
- (h) Lixe e cole o tubo de 50 mm à luva de 50 mm com bastante cola e faça pressão por alguns minutos;
- (i) Cole o tubo de 25 mm na parte superior do corpo da bomba.

5. Montagem final da parte inferior do corpo da bomba (Fig. I.7):

- (a) Cole o pistão ao tubo de 20mm (lado oposto ao da bola de gude)
- (b) Introduza a extremidade livre tubo de 20 mm no interior do corpo da bomba pela parte inferior
- (c) Encaixe a válvula inferior na extremidade inferior do tubo de 50 mm

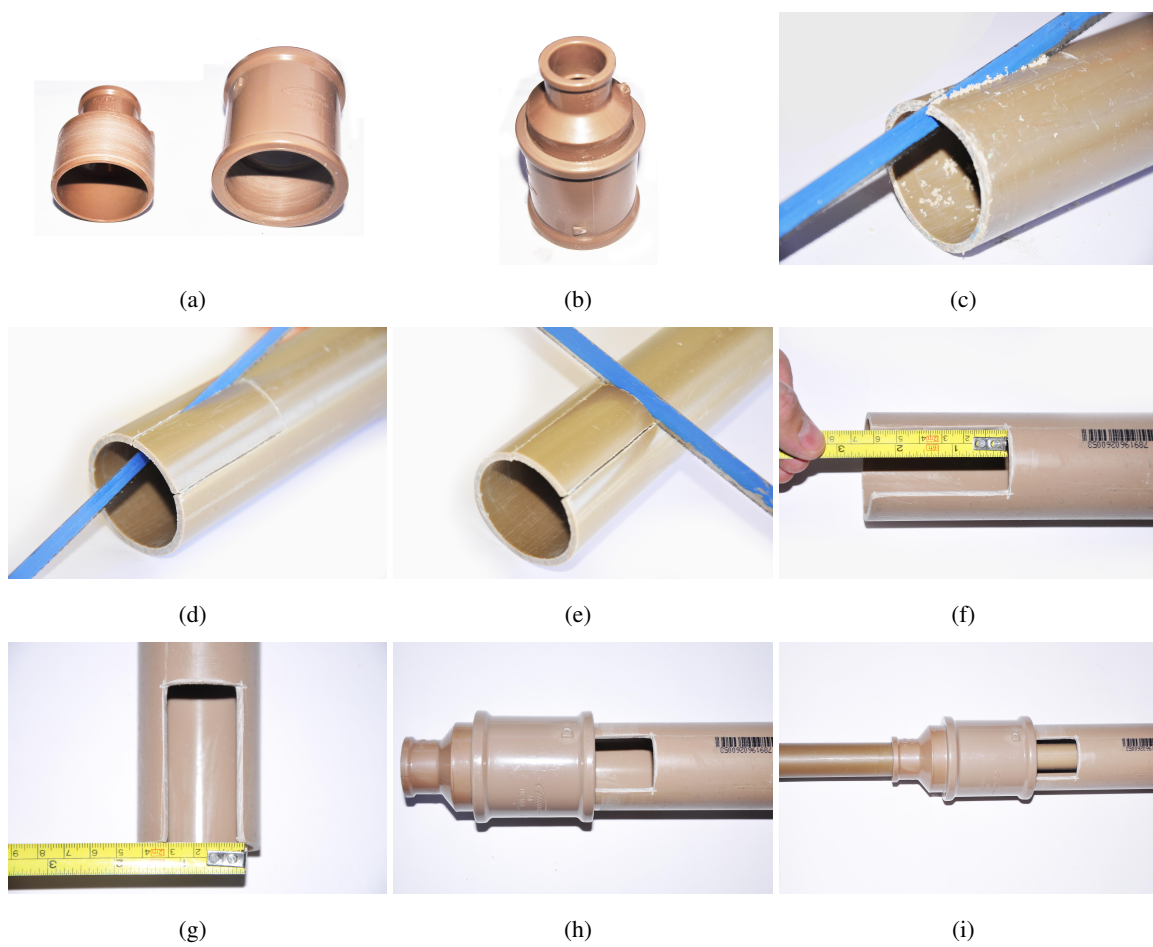


Figura I.6: Sequência de montagem da parte superior do corpo da bomba.

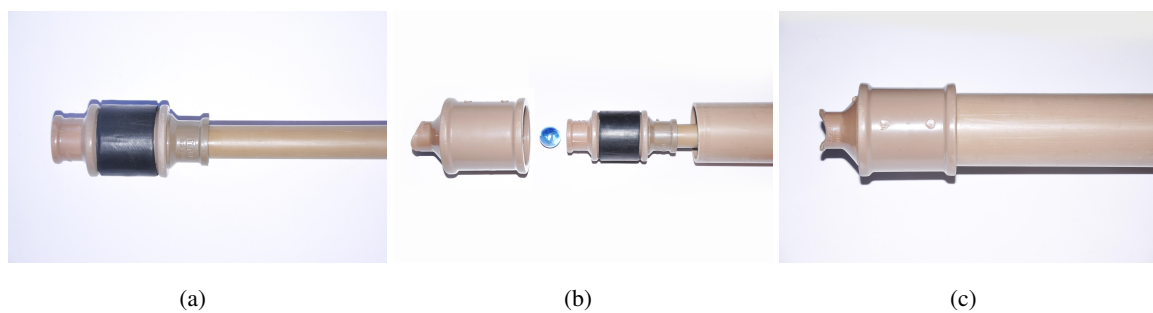


Figura I.7: Sequência de montagem da parte inferior do corpo da bomba.